

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉTUDE DU RÔLE DE L'INHIBITION DANS LE
CHANGEMENT CONCEPTUEL À L'ÉGARD DU CONCEPT
DE FORCE CHEZ DES ÉTUDIANTS UNIVERSITAIRES

MÉMOIRE PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉDUCATION

PAR
FRANÇOIS THIBAUT

AOÛT 2013

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier Patrice Potvin, mon directeur de recherche, pour son soutien indéfectible lors des quatre dernières années. Merci également aux professeurs et collaborateurs de l'EREST, qui se sont montrés attentifs et patients, acceptant de répondre à de multiples questions et de m'aider à pratiquer lors de diverses présentations en lien avec le projet.

Mais avant tout, j'aimerais remercier Emilie, ma conjointe, ainsi que mes parents et amis, qui ont su me supporter pendant ces nombreuses années. Merci d'avoir gardé la foi en mon projet durant tout ce temps, alors que j'ai moi-même eu de la difficulté à le faire.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTES DES ABBRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	viii
RÉSUMÉ	ix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I	
PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1. Des conceptions naïves au changement conceptuel.....	3
1.2. Limites et critiques des modèles de changement conceptuel.....	5
1.3. L'apport des neurosciences cognitives	7
1.4. Objectifs de recherche.....	9
CHAPITRE II	
CADRE THÉORIQUE	12
2.1. Le changement conceptuel.....	13
2.1.1. Le modèle de Posner, Strike, Hewson et Gertzog.....	13
2.1.2. Le modèle de diSessa	16
2.1.3. Le modèle de Vosniadou.....	18
2.1.4. Les neurosciences cognitives pour étudier le changement conceptuel .	19
2.2. L'inhibition	25
2.2.1. La construction d'objet	25
2.2.2. Les nombres	26

2.2.3.	La catégorisation	27
2.2.4.	Le raisonnement	28
2.2.5.	Une définition opérationnelle.....	29
2.3.	La recherche de Kwon et Lawson.....	30
2.3.1.	Objet de la recherche.....	31
2.3.2.	Échantillonnage.....	31
2.3.3.	Méthodologie	31
2.3.4.	Résultats et analyse	33
2.3.5.	Critiques à l'encontre des résultats de Kwon et Lawson	34
2.3.6.	Le gain conceptuel	35
2.4.	Questions spécifiques et hypothèses de recherche.....	36
CHAPITRE III		
MÉTHODOLOGIE.....		38
3.1.	Devis expérimental et déroulement des opérations	38
3.2.	Population, échantillonnage et considérations éthiques.....	39
3.3.	Instruments de mesure	40
3.3.1.	Le test du tri de carte du Wisconsin.....	41
3.3.2.	Le <i>Force Concept Inventory</i>	45
CHAPITRE IV		
RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS		48
4.1.	Mortalité expérimentale et données manquantes	48
4.2.	Tests statistiques et logiciels utilisés.....	49
4.3.	Pré-test et post-test au FCI en fonction de la moyenne au WCST.....	50

4.4.	Gain normalisé au FCI en fonction de la moyenne au WCST	54
------	---	----

4.5.	Gain au FCI en fonction de la moyenne au WCST	57
------	---	----

CHAPITRE V

DISCUSSION	60
------------------	----

5.1.	Pré-test au FCI en fonction de la moyenne au WCST	60
------	---	----

5.2.	Post-test au FCI en fonction de la moyenne au WCST	61
------	--	----

5.3.	Gain et gain normalisé au FCI en fonction de la moyenne au WCST	62
------	---	----

CONCLUSION	68
------------------	----

APPENDICE A

CALENDRIER DES OPÉRATIONS	76
---------------------------------	----

APPENDICE B

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT	77
----------------------------------	----

RÉFÉRENCES	75
------------------	----

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1	
Exemple de la fenêtre d'ouverture du logiciel PEBL telle que présentée aux sujets.....	41
Figure 3.2	
Les quatre cartes de base du WCST.....	42
Figure 4.1	
Score au pré-test du FCI en fonction de la capacité d'inhibition.....	51
Figure 4.2	
Score au post-test du FCI en fonction de la capacité d'inhibition.....	53
Figure 4.3	
Gain normalisé au FCI en fonction de la capacité d'inhibition	55
Figure 4.4	
Gain au FCI en fonction de la capacité d'inhibition	57

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	
Statistiques descriptives associées au FCI.....	50
Tableau 2	
Statistiques descriptives associées au WCST.....	50
Tableau 3	
Coefficient de corrélation de Pearson des scores du pré-test au FCI en fonction de la capacité d'inhibition.....	52
Tableau 4	
Coefficient de corrélation de Pearson des scores du post-test au FCI en fonction de la capacité d'inhibition.....	54
Tableau 5	
Coefficient de corrélation de Pearson du gain normalisé au FCI en fonction de la capacité d'inhibition.....	56
Tableau 6	
Coefficient de corrélation de Pearson du gain au FCI en fonction de la capacité d'inhibition.....	58

LISTES DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ÉTS : École de Technologie Supérieure

FCI : *Force Concept inventory*, un test d'inventaire des conceptions portant sur les forces telles que vues en physique mécanique.

WCST : *Wisconsin Card Sorting Test*, un test de tri de carte servant à mesurer diverses fonctions cognitives, dont l'inhibition.

RÉSUMÉ

Le changement conceptuel est un sujet très populaire dans la recherche en éducation et plusieurs modèles ont été construits afin de le décrire. Cependant, il n'existe aucun consensus entre ces modèles, qui renvoient parfois à des éléments qui sont incompatibles avec leurs compétiteurs. C'est en voulant étudier ce phénomène selon une nouvelle approche issue des neurosciences cognitives et de la psychologie, notamment par l'utilisation de techniques modernes d'imagerie cérébrale, que certains chercheurs ont pu mettre en évidence le rôle que pourrait jouer l'inhibition dans le processus du changement conceptuel.

Selon ces chercheurs, il semblerait que, contrairement aux modèles « classiques » du changement conceptuel, les conceptions initiales seraient inhibées au profit de conceptions plus conformes au savoir scientifique, plutôt que transformées et raffinées afin d'être réinvesties dans un nouveau schéma conceptuel. Cependant, bien qu'elles permettent toutes d'établir un lien entre l'inhibition et le changement conceptuel dans plusieurs disciplines liées aux sciences et aux mathématiques, une seule de ces études, celle de Kwon et Lawson (2000), permet de quantifier cette relation au moyen de statistiques descriptives. Selon eux, l'inhibition pourrait expliquer près de 30% de la variance de ce qu'ils appellent le « gain conceptuel », une mesure qu'ils proposent afin d'évaluer les changements conceptuels effectués par rapport aux concepts liés à la pression des gaz.

Reprenant la méthodologie de Kwon et Lawson, notre recherche avait pour objectif de confirmer leurs observations et d'en augmenter la portée. C'est pourquoi nous avons choisi d'étudier les concepts reliés aux forces tels que vus en physique mécanique, un domaine que la littérature a identifié comme étant riche en conceptions naïves et pour lequel un instrument de mesure très robuste était disponible. Les analyses effectuées ont alors permis de constater que 18.2% de la variance du gain conceptuel observé pouvait être attribuée à l'effet de l'inhibition, ce qui, bien qu'il s'agisse de résultats inférieurs à ceux obtenus par Kwon et Lawson, permet néanmoins de confirmer l'existence d'un lien entre les variables étudiées, soient l'inhibition et le changement conceptuel.

INTRODUCTION

Il y a plus de 150 ans, les neurosciences cognitives s'intéressaient déjà aux différentes fonctions cognitives. À cette époque, on étudiait des victimes d'accidents graves ayant subi des dommages, souvent permanents, au cerveau. Par des batteries de tests visant à déterminer quelles facultés mentales ces victimes avaient perdues, il était possible de relier certaines zones du cerveau à leurs fonctions respectives. Il s'agissait de grandes découvertes pour l'époque, mais les progrès étaient très lents, faute d'outils spécialisés pour observer le comportement du cerveau. Depuis ce temps, les choses ont bien changé : grâce aux techniques modernes d'imagerie cérébrale, il est possible de cibler avec une précision de l'ordre du millimètre les zones du cerveau impliquées dans la résolution de tâches de plus en plus complexes.

Il est donc tout naturel que le domaine des sciences de l'éducation s'intéresse aux avancées scientifiques des neurosciences cognitives, puisqu'une meilleure connaissance des rouages du cerveau pourrait permettre de comprendre avec plus de précision les mécanismes desquels dépend l'apprentissage. C'est d'ailleurs ce que propose la neuroéducation, un champ de recherche relativement récent; en alliant les connaissances acquises grâce aux neurosciences cognitives aux différentes théories émergeant des sciences de l'éducation, la neuroéducation permet d'accéder à un niveau d'analyse encore très peu exploré.

De plus, par un effet de triangulation, la neuroéducation joue un rôle très intéressant dans la vérification de certaines hypothèses éducatives formulées sur la base de résultats acquis par des méthodes de recherche plus traditionnelles, comme l'utilisation de questionnaires calibrés issues de la psychologie cognitive. Par exemple, certaines études récentes ont cherché à déterminer les processus cérébraux impliqués dans le phénomène du changement conceptuel, un objet de recherche très

populaire présentement en sciences de l'éducation et pour lequel il n'existe aucun modèle qui fasse consensus. Ces études semblent démontrer que l'inhibition serait un facteur important dans le changement conceptuel, ce qui, sans nécessairement les invalider, semble aller à l'encontre de certains des modèles existants. Notre recherche propose donc de vérifier les résultats obtenus par ces études, mais en utilisant des moyens plus traditionnels et, surtout, moins onéreux.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

Ce premier chapitre a pour but de poser le problème qui se trouve à l'origine de cette recherche. Le changement conceptuel, thème récurrent de plusieurs recherches récentes en éducation, fera office de point de départ. Les limites des théories sur le changement conceptuel seront ensuite abordées afin d'établir clairement le besoin d'une étude plus approfondie sur les causes de ce phénomène. Pour conclure, la piste de la fonction d'inhibition en tant que moteur du changement conceptuel sera abordée.

1.1. Des conceptions naïves au changement conceptuel

Depuis longtemps, on observe que certaines notions semblent être beaucoup plus difficiles à maîtriser pour les élèves que d'autres, et ce d'une manière presque systématique (diSessa, 2006). Cette réalité semble toucher particulièrement les sciences, où plusieurs des concepts clefs rencontrés lors du parcours académique de l'élève présenteront cette caractéristique d'être systématiquement plus difficiles à maîtriser, comme en témoigne diSessa :

In the broad educational experience, some topics seem systematically to be extremely difficult for students. Learning and teaching in these areas are problematic and present persistent failures of conventional methods of instruction. Many areas in the sciences, from elementary school through university level, have this characteristic, including, in physics:

concepts of matter and density, Newtonian mechanics, electricity, and relativity; in biology: evolution and genetics.

(diSessa, 2006, p.265)

Historiquement, plusieurs auteurs se sont penchés sur ces difficultés. Autrefois, on aurait pu attribuer ce phénomène à la complexité des concepts en question, ou de leur caractère plutôt abstrait ou contre-intuitif (diSessa, 2006), ce qui en rendrait l'assimilation plus difficile. Mais l'élève n'est pas un récipient que l'on remplit; on reconnaît maintenant que l'élève doit apprendre dans le contexte de son savoir actuel, c'est-à-dire que les notions qu'il a déjà acquises doivent être prises en compte lors de l'apprentissage de nouvelles connaissances. Ces notions peuvent aider le processus d'apprentissage tout comme elles peuvent y causer de l'interférence; il s'agit des conceptions initiales. Ces dernières peuvent varier d'un individu à un autre (Reuter, Cohen-Azria, Daunay, Delcambre & Lahanier-Reuter, 2007), mais certaines sont également très répandues, à un point tel que plusieurs auteurs et organismes cherchent à les répertorier et à les cataloguer (Bêty, 2009).

Ces conceptions, que certains qualifient de « naïves » parce qu'elles ne sont pas le produit d'un raisonnement scientifique éclairé, doivent être prises en compte par les enseignants, et ce, peu importe qu'elles soient perçues comme des obstacles à surmonter (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982) ou comme autant d'outils permettant de construire ses nouvelles connaissances (diSessa, 1988). Or, afin que l'élève délaisse la conception naïve afin d'en arriver à accepter, et éventuellement maîtriser, celle que son enseignant lui présente, il doit s'opérer une transition. Cette transition est ce que l'on appelle changement conceptuel.

1.2. Limites et critiques des modèles de changement conceptuel

On reconnaît généralement deux formes d'apprentissage (diSessa & Sherin, 1998). La première, principalement associée à la mémorisation, ne nécessite qu'une faible restructuration des conceptions (Tyson, Venville, Harrison & Treagust, 1997), ce que Piaget (1952) appelait plutôt « assimilation ». La seconde, quant à elle, demande d'effectuer de profonds changements au schéma de pensée de l'apprenant. On parlera alors d'une forte restructuration des conceptions (Tyson *et al.*, 1997) ou « d'accommodation », toujours selon les travaux de Piaget (1952). Alors que l'assimilation implique généralement de mémoriser un concept pour lequel on entretenait peu de conceptions initiales, la présence de ces dernières peut rendre l'accommodation particulièrement difficile (diSessa, 2006), rendant ainsi beaucoup plus apparent le changement conceptuel nécessaire.

Afin de décrire les différentes étapes menant au changement conceptuel, plusieurs modèles, qui seront vus de façon plus détaillée au prochain chapitre, ont été élaborés. Malheureusement la plupart d'entre eux sont mutuellement exclusifs, décrivant le changement conceptuel selon des mécanismes généralement incompatibles et laissant peu de place au compromis. Certains modèles de changement conceptuel sont également fortement critiqués. Un des modèles les plus populaires, celui de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982), établit que le changement conceptuel ne peut s'effectuer que lorsque quatre conditions sont réunies : on doit être insatisfait de l'ancienne conception, la nouvelle conception doit être intelligible, elle doit également être plausible et elle doit finalement être fertile. Or, ce modèle ne tient pas compte de la possibilité que la conception erronée puisse parfois être utile à l'apprentissage et ne la considère plutôt que comme un obstacle à la progression de l'apprenant (diSessa, 2006), en plus de faire trop souvent appel au conflit cognitif pour faire évoluer les conceptions, ce qui ne serait pas toujours nécessaire (Vosniadou, 1999). De plus, plusieurs considèrent que ce modèle minimise

l'importance de l'activité d'apprentissage en l'assimilant à une copie de l'activité des scientifiques (Bélanger, 2008; Masson, 2005; Vosniadou, 2008).

Une autre approche du changement conceptuel est celle de diSessa. Selon ce modèle, il ne faudrait pas systématiquement amener les élèves à changer de théorie en les confrontant avec des preuves et des démonstrations, mais plutôt tirer le plus de bénéfices possible des fragments de connaissance que les élèves ont déjà en tête, ainsi que des habitudes interprétatives qui y sont reliées (diSessa, 1988). Ces fragments de connaissance et d'interprétation, que diSessa nomme p-prims, ou primitives phénoménologiques, sont des éléments constitutifs des conceptions qui agiraient plus à un niveau intuitif que rationnel. Alors qu'une conception est potentiellement erronée, les primitives phénoménologiques qui la constituent ne le sont pas nécessairement, et diSessa encourage fortement la réutilisation des p-prims dans le processus de transformation des conceptions. Or, ce modèle semble malheureusement assez limité dans son application :

De l'aveu de son auteur, ce modèle est d'autant plus pertinent que le domaine où il est appliqué est phénoménologiquement riche et ancré dans l'expérience, ce qui peut expliquer pourquoi il n'a pas été appliqué de manière aussi convaincante à d'autres domaines que la mécanique. Dans l'espace de la problématique du changement conceptuel, le modèle de diSessa occupe donc un endroit limité.

(Bélanger, 2008, p.78)

Un modèle qui se veut concurrent à celui de diSessa, celui de Vosniadou, utilise lui aussi l'idée de fragments de connaissances. Contrairement aux p-prims de diSessa, par contre, ces notions sont regroupées en théories parfois très structurées, bien que naïves. Vosniadou décrit deux types de théories, soient les théories cadres, établies tôt dans l'enfance et servant à guider l'interprétation qui sera faite de phénomènes

observés, et les théories spécifiques, qui visent à expliquer des phénomènes précis. Ces théories spécifiques sont toutefois restreintes au domaine d'application qui leur a fait voir le jour (Vosniadou, 1994), contrairement aux p-prims de diSessa qui peuvent être réutilisées pour expliquer différents phénomènes. Vosniadou distingue aussi deux parties de l'apprentissage : l'enrichissement et la révision. L'enrichissement est caractérisé par un processus d'acquisition de nouvelles connaissances (formation de nouvelles théories), tandis que la révision consiste plutôt en un processus d'évaluation et de modification de la connaissance existante (modification d'une théorie déjà acquise), un principe quelque peu semblable au modèle de Strike, Posner, Hewson et Gertzog. Or, la cohérence interne du modèle de Vosniadou peut être mise en doute. En effet, Vosniadou insiste sur le fait de demander aux élèves ce que sont les raisons qui se trouvent à l'origine de leur raisonnement. Ceci peut malheureusement inciter l'élève à élaborer un modèle mental uniquement dans le but de répondre au questionnement de l'enseignant, ce qui pourrait mener à l'apparition de conceptions naïves supplémentaires (Potvin, Masson, Riopel & Fournier, 2007).

1.3. L'apport des neurosciences cognitives

Comme il est possible de le constater, il n'existe aucun modèle du changement conceptuel qui fasse l'unanimité ou qui soit en mesure de rallier à sa cause la majorité des chercheurs étudiant le phénomène. Il devient donc pertinent de chercher à étudier le changement conceptuel sous un autre angle, possiblement en utilisant des techniques moins conventionnelles, ce qui permettrait peut-être de confirmer ou d'infirmer certains des modèles fréquemment cités.

En neurosciences cognitives, on utilise depuis quelque temps l'imagerie cérébrale pour observer différents processus mentaux avec une précision qui ne cesse de s'améliorer. Un groupe de recherche en particulier, mené par Kevin Dunbar, a donc

décidé d'utiliser ces techniques modernes pour étudier le changement conceptuel, parvenant ainsi à quelques conclusions surprenantes. En effet, une première étude permit de déterminer que le cerveau réagit mal au conflit cognitif, cherchant plutôt à inhiber de l'information entrant en conflit avec les attentes des sujets (Dunbar & Stein, 2007), ce qui semble remettre en question le modèle de Posner *et al.*, dans lequel le conflit cognitif, sous la forme de la condition d'insatisfaction, occupe une place prépondérante. Ensuite, en cherchant à observer un changement conceptuel profond chez des étudiants de physique dans le cadre d'une seconde étude, Dunbar et ses collaborateurs conclurent que le changement conceptuel tel que décrit par les modèles existants est peut-être impossible. En effet, bien qu'il leur eut été possible d'observer un changement conceptuel profond, ils constatèrent également que certaines conceptions naïves, qui ne se manifestaient pas dans les réponses données aux différents tests, étaient pourtant toujours présentes dans le cerveau de leurs sujets, existant parallèlement aux conceptions scientifiques. En comparant l'activité cérébrale de néophytes à celle d'experts en physique, ils purent constater que, lorsque confronté à certaines conceptions naïves, le cerveau des experts réagissait de la même façon que celui des néophytes (notamment par l'activation de régions cérébrales associées à l'anticipation, signe que la situation présentée, même si elle est erronée, est conforme aux attentes du sujet), sauf pour l'activation de certaines régions normalement associées à la détection de conflits, à la résolution de problèmes et à l'inhibition. Selon l'équipe de Dunbar, si ces conceptions naïves ne se sont pas manifestées lors des différents tests malgré le fait qu'elles soient visiblement toujours présentes même chez les experts, ce n'est pas parce qu'elles ont été raffinées par un processus « classique » de changement conceptuel pour les transformer en conceptions scientifiques, puisque les deux conceptions semblent coexister, mais bien parce qu'elles seraient inhibées par le cerveau (Dunbar & Stein, 2007).

1.4. Objectifs de recherche

Il devient donc pertinent, considérant les conclusions de Dunbar *et al.*, de porter une attention plus particulière à l'interaction entre l'inhibition et le changement conceptuel. Dans cette optique, les travaux de Kwon et Lawson (2000) deviennent très intéressants. En effet, lors d'une étude menée en Corée, ces deux chercheurs tentèrent d'établir un lien entre le développement de diverses fonctions cognitives lors de l'adolescence et le changement conceptuel. Pour ce faire, ils eurent recours à des tests issus de la psychologie afin de quantifier quatre de ces fonctions cognitives, soient les capacités d'inhibition, de planification, de mémorisation et de dissociation visuelle, de sorte qu'ils purent vérifier s'il existait une corrélation entre ces fonctions et le changement conceptuel, qu'ils quantifièrent à l'aide de tests de connaissances administrés avant et après une série de cours portant sur les concepts reliés à la pression des gaz. L'inhibition fut alors révélée comme la fonction cérébrale qui corrélait le mieux avec le changement conceptuel, ce que Kwon et Lawson expliquèrent être dû au fait que les étudiants ayant réalisé le plus de changements conceptuels ont pu y parvenir en inhibant les informations inutiles à l'apprentissage ainsi que les conceptions naïves qui auraient pu causer de l'interférence (Kwon & Lawson, 2000).

Toutefois, la méthodologie utilisée par Kwon et Lawson présente certaines lacunes, comme le fait que les tests visant à évaluer l'évolution des conceptions des sujets, ainsi que les leçons qui y étaient associées, ont été élaborés par les auteurs eux-mêmes, ce qui pourrait constituer une importante source de biais. En effet, après une analyse du questionnaire de l'examen et du plan de cours que décrivent les auteurs, il semblerait que les cours auxquels assistèrent les sujets étaient spécifiquement construits dans le but de fournir une réponse aux questions de l'examen, une méthode qui semble conçue pour générer de bons résultats à ce test spécifique plutôt que pour engendrer, chez les élèves, des apprentissages durables.

Kwon et Lawson admettent également que, au vu des données qu'ils ont recueillies, les différentes fonctions cognitives étudiées semblent varier grandement en fonction de l'âge des sujets. Ainsi, il n'est pas impossible que la capacité d'inhibition de leurs sujets ait pu varier au cours de l'étude, ce que les auteurs ne sont pas en mesure d'observer puisqu'ils n'ont pas refait ces mesures à la fin de leur expérimentation. De plus, malgré le fait que la conclusion de Kwon et Lawson abonde de façon très intéressante dans le sens de celle de Dunbar bien qu'ils eurent recours à des moyens beaucoup moins sophistiqués, on peut toutefois supposer que les résultats obtenus par cette étude ne valent que pour les concepts reliés à la pression des gaz. Notre recherche cherchera donc à élargir le champ d'application de la conclusion obtenue lors de l'étude coréenne. Ce faisant, il serait également intéressant que les résultats que nous obtiendrons soient comparables à ceux d'autres chercheurs ayant utilisé des méthodes différentes, ce que Kwon et Lawson n'ont pas été en mesure de faire.

C'est pourquoi il fut choisi d'accorder une attention particulière aux concepts reliés aux forces tels que vus en physique mécanique. En effet, il s'agit d'une branche de la physique où les élèves entretiennent fréquemment des conceptions initiales en désaccord avec le savoir scientifique (diSessa, 2006) et à laquelle quelques-uns des modèles de changements conceptuels les plus populaires font référence (Posner *et al.*, 1982; diSessa, 2006). De plus, ces concepts ont été l'objet de l'une des études de l'équipe de Dunbar, qui a impliqué l'utilisation de techniques d'imagerie cérébrale très différentes des tests utilisés par Kwon et Lawson, que nous comptons reprendre en partie étant donné leur accessibilité.

De cette façon, il nous sera possible de comparer nos résultats à ceux obtenus à la fois par Kwon et Lawson, de qui nous emprunterons une partie de la méthodologie, en plus de ceux obtenus par Dunbar et ses collaborateurs, avec qui nous partagerons le même objet d'étude, soit le concept de force tel que vu en physique mécanique. Ces

comparaisons sont susceptibles de permettre de préciser le rôle de l'inhibition dans le changement conceptuel.

Ainsi, l'objectif de cette recherche est le suivant :

- ❖ Vérifier le lien entre l'inhibition et le changement conceptuel dans l'apprentissage de la physique mécanique.

Dans l'éventualité où un tel lien pouvait être observé et mesuré, ceci permettrait d'apporter plus de précisions aux différents modèles du changement conceptuel, qui ne tiennent pas compte, à l'heure actuelle, du rôle que pourrait y jouer l'inhibition. De plus, l'obtention de résultats semblables à ceux de Kwon et Lawson (2000) serait un indicateur de la validité de leur méthodologie, ce qui en justifierait l'utilisation dans d'autres recherches similaires.

CHAPITRE II

CADRE THÉORIQUE

Afin de bien cerner les différents éléments de cette recherche, il est pertinent de définir quelques concepts clefs auxquels nous ferons régulièrement référence. En effet, avant de prétendre déterminer l'influence de la capacité d'inhibition sur le changement conceptuel, il est nécessaire de bien comprendre ce que représentent ces deux variables dans le cadre de cette étude. Ainsi, le changement conceptuel sera abordé sous différents angles, notamment en présentant trois principaux modèles concurrents de ce champs de recherche, en plus de faire une incursion dans le domaine des neurosciences cognitives, où il a été possible d'observer des changements conceptuels sous un angle nouveau, auquel les chercheurs plus spécialisés en éducation n'ont pas toujours accès.

Ensuite, dans le but de bien définir l'inhibition, les différents travaux d'Olivier Houdé seront abordés, ouvrages particulièrement intéressants pour le domaine de l'éducation puisqu'ils font également référence aux travaux de Piaget. Plus précisément, Houdé explicite clairement le lien qui existerait, selon lui, entre l'inhibition et le développement cognitif, notamment en mettant l'emphasis sur diverses lacunes qu'il perçoit dans le modèle piagétien.

Finalement, afin de bien illustrer les liens possibles entre l'inhibition et le changement conceptuel, une recherche coréenne sera présentée. Dans cette étude, les auteurs ont tenté de déterminer quels facteurs du développement cognitif étaient susceptibles d'influencer le changement conceptuel en ce qui a trait aux concepts

reliés à la pression des gaz. Leur méthodologie est particulièrement intéressante, et sera donc, en partie, reprise dans le cadre de notre recherche.

2.1. Le changement conceptuel

Le changement conceptuel peut être décrit comme le processus par lequel les conceptions « naïves », qui ne sont pas issues de modèles rationnels et scientifiques, se développent et se raffinent afin de devenir des conceptions « scientifiques ». Il existe cependant une multitude de modèles visant à expliquer ce phénomène, la plupart utilisant des mécanismes complètement différents. C'est pourquoi trois modèles concurrents seront décrits, afin de bien représenter les différents points de vue sur le sujet; il s'agit des modèles de Posner, Strike, Hewson et Gertzog, de diSessa ainsi que celui de Vosniadou. Ces modèles ont été retenus parce que, en plus d'être parmi les plus cités dans la littérature du changement conceptuel, ils représentent très bien certains courants de pensée populaires ayant généré d'autres modèles semblables. Finalement, à travers les travaux de Dunbar et de Shtulman, le changement conceptuel sera abordé du point de vue des neurosciences cognitives, où l'utilisation de techniques d'imagerie cérébrale a pu permettre d'y poser un regard nouveau encore peu exploité en sciences de l'éducation.

2.1.1. Le modèle de Posner, Strike, Hewson et Gertzog

Le modèle de Posner, Strike, Hewson et Gertzog est le plus cité dans les travaux sur le changement conceptuel. Il tire son origine des travaux de Kuhn (1962), qui proposait un modèle expliquant la structure sociale des révolutions scientifiques, cherchant à les transposer à un seul individu. Dans ce modèle, on met l'emphasis sur

les connaissances antérieures de l'apprenant, puisqu'elles serviront de point de départ à certains processus d'apprentissage.

Whenever the learner encounters a new phenomenon, he must rely on his current concepts to organize his investigation. Without such concepts, it is impossible for the learner to ask a question about the phenomenon, to know what would count as an answer to the question, or to distinguish relevant from irrelevant features of the phenomenon.

(Posner *et al.*, 1982, p.212)

Selon ce modèle, l'apprentissage est un processus rationnel durant lequel les nouvelles conceptions jugées pertinentes doivent être assimilées. Cependant, lorsque ces nouvelles conceptions entrent en conflit avec des conceptions existantes chez l'apprenant, celui-ci ne peut simplement les assimiler; on parle alors plutôt d'un processus d'accommodation, une idée empruntée à Piaget. Ce processus, selon Posner *et al.* (1982), comporte quatre conditions distinctes qui doivent toutes être remplies avant de pouvoir considérer que le changement conceptuel s'est opéré.

La première est celle de l'insatisfaction. Selon cette condition, une personne ne sera pas portée à modifier les conceptions déjà acquises de façon majeure tant que celles-ci ne se seront pas devenues inadéquates à décrire un phénomène donné, ce que Posner *et al.* (1982, p. 214) relatent de façon éloquente : « *Thus, before an accommodation will occur, it is reasonable to suppose that an individual must have collected a store of unsolved puzzles or anomalies and lost faith in the capacity of his current concepts to solve these problems.* » Ainsi, à moins de constater un problème dans sa représentation d'une réalité particulière, l'apprenant n'aura pas tendance à rechercher un meilleur modèle, ce qui déclencherait alors un processus susceptible de mener à un changement conceptuel.

La seconde condition est celle de l'intelligibilité. Lorsqu'une ancienne conception s'est avérée insatisfaisante, il est naturel d'en rechercher une meilleure pour la remplacer. Celle-ci, pour être retenue, se doit d'être intelligible, c'est-à-dire que l'apprenant doit être en mesure de se la représenter, que ce soit à l'aide d'un vocabulaire juste, d'analogies pertinentes, de graphiques, de schémas ou de tout autre moyen utile (Posner *et al.*, 1982). Sans cette caractéristique, une nouvelle conception ne sera pas conservée bien longtemps.

Troisièmement, afin de rendre possible le changement conceptuel, une nouvelle conception se doit d'être plausible. En effet, tout aussi intelligible qu'elle soit, une conception ne sera pas considérée par l'apprenant si celui-ci la juge trop farfelue. La nouvelle conception, pour être conservée, doit donc représenter d'une manière réaliste le phénomène observé tout en maintenant une certaine cohérence avec les autres connaissances de l'apprenant, en plus de résoudre, du moins en apparence, les problèmes et anomalies soulevés par l'ancienne conception (Posner *et al.*, 1982).

La dernière condition est celle de la fécondité. Cette condition stipule que, pour qu'elle persiste, une conception doive permettre à l'apprenant de progresser, d'expliquer d'autres phénomènes. En quelque sorte, elle doit non seulement régler le problème observé par l'apprenant, mais démontrer qu'elle peut en faire davantage que la conception qu'elle remplace (Posner *et al.*, 1982).

Ce n'est qu'une fois ces conditions remplies que le processus d'accommodation peut se compléter. On parlera alors de changement conceptuel. Au fil du temps et des apprentissages, les conceptions naïves de l'apprenant finiront par disparaître, afin d'être remplacées petit à petit par des conceptions plus performantes, c'est-à-dire possédant un pouvoir explicatif plus grand.

2.1.2. Le modèle de diSessa

Contrairement au modèle de Posner *et al.*, où l'idée d'une confrontation entre les anciennes et nouvelles conceptions est souhaitable, voir même requise, diSessa, qui étudiait avant tout le changement conceptuel en physique mécanique, trouve superficielle l'idée d'amener les élèves à changer leurs conceptions en les confrontant à des preuves ou à des démonstrations, ou bien en argumentant avec eux selon une démarche très rationnelle (diSessa, 1988). Plutôt, il propose de développer chez l'apprenant une meilleure compréhension des sciences en misant sur le réinvestissement des divers fragments de connaissances que ce dernier pourrait déjà posséder.

Ces fragments, selon diSessa, forment le cœur d'un système peu organisé de primitives phénoménologiques, ou *p-prims*, permettant de faire intuitivement des liens causals entre diverses observations. De façon pratique, les *p-prims* peuvent être définis comme étant de petites structures de connaissance tirées de l'observation et de l'expérience permettant d'expliquer des phénomènes plus complexes, mais, puisqu'elles agissent à un niveau plus intuitif que rationnel, n'ayant pas elles-mêmes besoin d'être expliquées (diSessa, 1993). C'est d'ailleurs parce qu'elles se passent d'explications et de justifications, étant plutôt intuitivement utilisées comme évidences « parce que c'est ainsi », que diSessa les qualifie de primitives. Ensemble, ces *p-prims* forment ce qu'il appelle le sens naïf de la physique (diSessa, 1993).

Pour diSessa, ce sens naïf de la physique est très différent du sens de la physique que pourrait posséder un expert. En effet, celui de l'expert sera beaucoup plus profond, mais surtout plus systématique (diSessa, 1993). Selon ce modèle, le changement conceptuel nécessite plus qu'une simple modification ou un remplacement des conceptions. En effet, le changement conceptuel implique une réorganisation en

profondeur des *p*-prims, un processus qui demande généralement un certain temps. Lors de cette réorganisation, les relations causales intuitives tirées de l'observation et l'expérience, qui ne sont pas nécessairement erronées, peuvent être réinvesties dans une conception moins superficielle, plus systématique.

Cette notion de systématisation des conceptions est importante. Sans elle, à chaque nouvel apprentissage correspondrait potentiellement une nouvelle primitive phénoménologique. Lorsqu'il s'agit d'un nouveau phénomène, cette situation ne pose pas trop de problèmes, puisque l'apprenant ne possède pas de point de référence auquel rattacher la nouvelle information. Cependant, dès lors qu'il s'agit plutôt d'un concept connu, mais observé dans un nouveau contexte, la création de nouveaux *p*-prims pourrait faire en sorte que le sens de la physique de l'apprenant ne développe jamais en profondeur, ne proposant que des explications superficielles uniques à chaque phénomène observé, plutôt que d'établir des liens entre la nouvelle information et celle qui est déjà acquise.

Pour faciliter cette systématisation, diSessa suggère d'employer la discussion afin de mettre en évidence les différences et les ressemblances des différentes conceptions initiales retrouvées chez les élèves. Il propose également d'étudier une même relation causale, mais selon différents contextes, ce qui permettra d'en faire ressortir les éléments importants. Ces méthodes ont pour but de mettre en évidence les similarités rencontrées lors d'observations parentes afin de mieux les isoler pour que l'apprenant puisse ensuite les intégrer à sa propre conception, facilitant ainsi son évolution. Ainsi, au lieu de simplement considérer les conceptions naïves comme des obstacles à surmonter, le modèle de diSessa diffère de celui de Posner *et al.* en permettant leur réutilisation dans la construction de conceptions plus « performantes ».

2.1.3. Le modèle de Vosniadou

Le modèle de Vosniadou, tout comme celui de diSessa, propose lui aussi un réinvestissement possible des conceptions naïves. Cependant, contrairement aux *p-prims* du modèle de diSessa qui sont des notions intuitives, Vosniadou propose deux types de théories qui peuvent être très structurées et complexes : les théories cadres (*framework theories*, en anglais), plus générales, et les théories spécifiques (*specific theories*, en anglais), particulières à un phénomène précis. À un ensemble de ces théories portant sur des concepts similaires, Vosniadou (1994) donne l'appellation de modèle mental, qui peut être assimilé à des conceptions chez d'autres auteurs : « Mental models are dynamic and generative representations which can be manipulated mentally to provide causal explanations of physical phenomena and make predictions about the state of affairs in the physical world » (Vosniadou, 1994, p.48).

Un peu à la manière du paradigme dans le modèle des révolutions scientifiques de Kuhn (1962), les théories cadres servent, dans le modèle de Vosniadou, à délimiter le domaine à l'intérieur duquel les théories spécifiques peuvent se développer. Par exemple, la supposition « la chaleur peut se transférer d'un objet à un autre qui est moins chaud » serait une théorie spécifique qui découle de la théorie cadre voulant que la chaleur soit une propriété transférable de la matière (Vosniadou, 1994). Les théories cadres sont donc un ensemble de présuppositions épistémologiques et ontologiques, alors que les théories spécifiques fournissent généralement une explication pour un phénomène donné. Les théories spécifiques sont également cohérentes et structurées, les événements qu'elles expliquent ayant été observés à maintes reprises et leur justesse confirmée au fil des ans. Pour Vosniadou (1994), les conceptions représentent donc l'objet ou le phénomène observé et le décrivent en fonction des théories cadres et spécifiques qui y sont reliées.

Selon ce modèle, il existe deux formes d'apprentissage. La première consiste en un enrichissement des modèles déjà existants par l'ajout de nouvelles informations, un processus relativement aisé, même s'il prend généralement du temps. Le second, beaucoup plus difficile, nécessite une révision interne du modèle mental, donc des théories cadres et spécifiques dont il découle. C'est ce processus de révision qui, selon Vosniadou, mènerait au changement conceptuel : « [...] the process of conceptual change appears to proceed through a gradual revision of the presuppositions and beliefs of the specific and framework theories » (Vosniadou, 1994, p.63).

2.1.4. Les neurosciences cognitives pour étudier le changement conceptuel

Forts des dernières avancées en neurosciences cognitives, certains chercheurs se sont intéressés au changement conceptuel d'un point de vue cérébral. En effet, les techniques d'imagerie cérébrale sont maintenant suffisamment évoluées pour permettre de visualiser, voire de mesurer, l'utilisation des processus cérébraux nécessaires à l'apprentissage de concepts précis. Les travaux de Dunbar et son équipe sont ici particulièrement intéressants pour le thème du changement conceptuel.

Lors d'une première étude, Dunbar (Fugelsang & Dunbar, 2005) s'intéressa à l'utilisation du conflit cognitif en tant que déclencheur potentiel de changement conceptuel, une question fort intéressante puisque les différents modèles concurrents du changement conceptuel ne sont pas tous en accord avec l'importance qui devrait y être accordée. En effet, l'idée de conflit cognitif renvoie à une confrontation entre la réalité, généralement par l'entremise d'une expérience ou d'une démonstration, et les conceptions naïves de l'apprenant, une démarche ayant normalement pour but de démontrer les failles de ces conceptions naïves afin de favoriser l'apprentissage de conceptions plus valides scientifiquement. Dans le modèle de Posner *et al.* (1982), le

conflit cognitif devient alors une excellente façon de satisfaire la condition d'insatisfaction requise pour qu'un changement conceptuel se concrétise. Cependant, selon les modèles de diSessa et Vosniadou, les éléments qui forment ces conceptions naïves ne sont pas nécessairement tous erronés. Pour ces auteurs, il serait alors préférable de procéder autrement; lors d'une discussion de groupe, par exemple, l'enseignant pourrait amener les étudiants à identifier les points où la conception naïve diverge de la réalité afin de mettre en évidence les éléments de conception qui sont toujours valides. Ces éléments pourront ensuite être réinvestis dans un modèle plus systématique, plus performant.

Les résultats obtenus par l'équipe de Dunbar lors d'une expérience portant sur l'efficacité perçue de divers médicaments semblent donner raison aux détracteurs du conflit cognitif. En effet, lorsque confrontés à des résultats correspondants à leurs attentes, donc lorsqu'ils n'étaient pas mis en situation de conflit cognitif, les sujets démontraient une activité cérébrale typique de l'apprentissage. Et, au contraire, lorsqu'ils furent confrontés à des résultats différents de leurs attentes dans le but spécifique de produire un conflit cognitif, leur activité cérébrale était plus typique de la détection d'erreur et de la réallocation des ressources attentionnelles, caractérisées respectivement par une forte activation du cortex cingulaire antérieur et du précunéus (Fugelsang & Dunbar, 2005). Pour Dunbar et Stein (2007), ces résultats indiquent que, lorsqu'il est mis face à des données qui contredisent ses attentes, le cerveau aura tendance à percevoir ces données comme des erreurs et cherchera à alors à passer à autre chose.

Dunbar n'est pas le seul à faire référence au cortex cingulaire antérieur, qui revient régulièrement dans la littérature où l'on retrouve pour son activation deux interprétations populaires (Botvinick, 2007). La première se concentre sur le fait que, dans les expériences en imagerie cérébrale, le cortex cingulaire antérieur est fréquemment activé lors de tâches où la détection des conflits est nécessaire, telles

que le test d'effet Stroop (Bench *et al.*, 1993) ou celles impliquant de vaincre une réponse fortement ancrée (Nathaniel-James, Fletcher & Frith, 1997). Cependant, ces tests ne sont toutefois pas les seuls auxquels on associe une forte activation de cette région du cerveau. En effet, il existe une deuxième interprétation selon laquelle le cortex cingulaire antérieur serait impliqué dans l'évaluation des différentes retombées de certaines décisions. Cette interprétation découle d'observations faites lors de tâches de feedback négatif (van Duijvenvoorde, Zanolie, Rombouts, Raijmakers & Crone, 2008) ou lors de jeux de hasards (Bush *et al.*, 2002), alors qu'une activation du cortex cingulaire antérieur correspondait à l'anticipation chez le sujet de conséquences négatives à ses décisions.

Ces deux interprétations peuvent toutefois être réconciliées à l'intérieur d'un modèle unique dans lequel la détection de conflit joue un rôle actif dans la prise de décision. Selon Botvinick (2007), la détection de conflit cognitif par le cortex cingulaire antérieur pourrait servir à indiquer au cerveau la nécessité d'un meilleur contrôle cognitif, mais pourrait également générer une forme de renforcement négatif qui jouerait ensuite un rôle dans l'évaluation des conséquences liées à certaines décisions, ce qui ne serait pas incompatible avec les deux interprétations vues précédemment. En effet, il apparaît à Botvinick (2007), qui fait référence aux travaux de Hull (1943) sur la loi du moindre effort, que le cerveau favoriserait les situations nécessitant pour lui l'utilisation du moins de ressources possible. C'est ce que semblent observer Dunbar et Stein (2007), pour qui une activation du précunéus, jumelée à celle du cortex cingulaire antérieur, serait un indicateur du fait que le cerveau cherche à réallouer ses ressources attentionnelles à d'autres choses qui, potentiellement, demanderaient moins de ressources que la gestion d'un conflit cognitif, ce qui aurait pour conséquence d'interférer avec le processus de changement conceptuel.

Toutefois, les conclusions de Dunbar ont été réalisées à partir de l'observation d'un changement conceptuel superficiel puisque, de la façon dont son expérience était

structurée, les attentes des sujets étaient directement issues des questions qui leur étaient posées, et non de leurs connaissances antérieures. C'est donc pourquoi l'équipe de Dunbar chercha à observer, dans une seconde étude, un changement conceptuel plus profond dans le domaine de la physique, domaine choisi spécifiquement car il est riche en conceptions naïves (Dunbar & Stein, 2007). Ils ont donc confronté un groupe d'étudiants de physique et un groupe d'étudiants de sciences humaines à des vidéos présentant des boules de différentes tailles qui tombent en chute libre. Les vidéos « newtoniennes », dans lesquelles les deux boules tombaient à la même vitesse, étaient opposées à des vidéos « non-newtoniennes », dans lesquels la grosse boule tombait plus rapidement que la petite (une conception naïve très répandue).

Devant une vidéo newtonienne, et ce, bien que la moitié d'entre eux l'aient correctement identifiée comme scientifiquement exacte, le cerveau des étudiants de sciences humaines, comparativement à celui des étudiants de physique, présente une activation marquée du cortex cingulaire antérieur, un phénomène que Dunbar interprète comme un signe que le changement conceptuel ne s'est pas opéré à un niveau profond (Dunbar & Stein, 2007) puisque le cerveau semble toujours considérer que cette situation est erronée. Cette conclusion est également renforcée par le fait que le cerveau de ces mêmes sujets ne présente pas d'activation particulière du cortex cingulaire antérieur lorsque confronté à une vidéo non newtonienne, mais plutôt une activation du cortex frontal médial pouvant être interprétée comme signe que le phénomène observé dans la vidéo était conforme aux attentes des sujets. Chez les étudiants de physique, les réponses furent plus étranges : bien que leur activité cérébrale indique que les vidéos newtoniennes correspondaient à leurs attentes, il en allait aussi de même pour les vidéos non newtoniennes. Par contre, contrairement aux étudiants de sciences humaines, leur cortex cingulaire antérieur s'activait plutôt devant les vidéos non newtoniennes (Petito & Dunbar, 2009).

Il faut toutefois noter que ces observations ne sont pas absolues, mais bien qu'elles représentent un contraste entre les données recueillies chez les étudiants de physique et de sciences humaines. Ainsi, lorsque Dunbar dit observer une activation du cortex cingulaire antérieur chez les étudiants de sciences humaines à qui l'on a présenté une vidéo newtonienne, il ne faut pas l'interpréter comme un signe que cette activation n'est pas présente chez les étudiants de physique, mais plutôt que les étudiants de sciences humaines présentent une activité cérébrale significativement plus forte que les étudiants de physique dans ce contexte précis, signe que leur cerveau, plus que celui des physiciens, interprète cette situation comme une erreur. À l'inverse, lorsqu'il s'agit d'une vidéo non newtonienne, le cortex cingulaire antérieur des étudiants de sciences humaines peut aussi être activé, mais, selon les résultats, celui des étudiants de physique s'active significativement plus, ce qui indiquerait que ces derniers perçoivent davantage les vidéos non newtoniennes comme des anomalies que ne le font leurs homologues de sciences humaines.

Dunbar suggère une interprétation très importante de ce phénomène : les conceptions naïves ne sont jamais vraiment perdues ou transformées, mais elles sont plutôt inhibées de plus en plus fortement jusqu'à ce qu'une conception plus performante puisse la supplanter (Dunbar & Stein, 2007). Cependant, on peut supposer que la conclusion de Dunbar ne vaut que pour la physique mécanique. C'est pourquoi les travaux de Steve Masson (2011) sont très intéressants. Avec une méthodologie presque identique, mais faisant visant l'observation de changements conceptuels en électricité plutôt qu'en mécanique, Masson constate la même activation du cortex cingulaire antérieur que celle décrite par Dunbar, autant chez ses sujets « novices », qui n'avaient jamais suivi de cours universitaire de physique, que chez ses sujets « experts », des étudiants de physique, ce qui pourrait laisser entendre que l'inhibition jouerait un rôle central dans l'apprentissage de concepts issus de plusieurs domaines de la physique, et non seulement de la mécanique.

Cette hypothèse semble appuyée par les travaux de Shtulman et Valcarcel (2012), qui ont pu observer la même relation dans plusieurs domaines d'application des sciences et des mathématiques en utilisant une méthodologie très différente de celle utilisée par Dunbar et Masson. En effet, étant donné les coûts associés à l'utilisation de technologies d'imagerie cérébrale pour une étude de cette envergure, Shtulman et Valcarcel ont préféré utiliser un questionnaire informatisé de 200 questions réparties également dans dix disciplines : l'astronomie, les fractions, la génétique, les germes, la matière, la mécanique, la physiologie, la thermodynamique et les ondes. Ces questions, de type « vrai ou faux », étaient spécifiquement conçues pour mettre en évidence les conceptions naïves que pouvaient entretenir les sujets. En effet, la moitié des questions étaient formulées de façon à ce que les réponses issues des conceptions naïves divergent du savoir scientifique conventionnel. Les autres questions, qui devaient servir de contrôle, étaient quant à elles formulées de façon à ce que les réponses naïves coïncident avec le savoir scientifique. Dans tous les cas, les questions ont été élaborées de façon à présenter un niveau de difficulté linguistique constant, de sorte que les questions ne différaient que dans le caractère intuitif ou contre-intuitif des réponses attendues.

Lors de l'administration de ce questionnaire, les participants avaient pour instruction de répondre le plus rapidement possible, étant donné qu'ils étaient chronométrés pour chacune de leurs réponses, mais qu'ils devaient avant tout privilégier les bonnes réponses aux réponses rapides. Ceci permit à Shtulman d'observer des différences significatives entre les temps de réponse aux diverses questions. En effet, les temps de réponse moyens aux questions dont les réponses n'étaient pas cohérentes avec les conceptions naïves ciblées étaient systématiquement plus élevés que pour les autres questions, pour lesquelles les réponses naïves et scientifiques coïncidaient. Selon les auteurs, ce phénomène serait causé par le fait que, malgré plusieurs années d'études, certaines conceptions naïves demeurent profondément enracinées et doivent donc être inhibées afin de pouvoir répondre correctement aux questions qui les

sollicitent (Shtulman et Valcarcel, 2012). Ainsi, malgré une méthodologie différente, Shtulman et Valcarcel parviennent non seulement à la même conclusion que Dunbar, ils en étendent également la portée à plusieurs disciplines scientifiques.

2.2. L'inhibition

Comme il a été possible de le constater, l'inhibition occupe possiblement une place importante dans le phénomène du changement conceptuel. Cependant, il semble que le terme soit employé dans plusieurs domaines, tels que la biologie, la neurobiologie, les sciences cognitives et la psychologie, sans pour autant qu'un consensus se soit formé en ce qui a trait à sa définition. Dans le cadre de notre recherche, nous ferons principalement référence aux différents travaux d'Olivier Houdé, qui perçoit l'inhibition comme l'un des piliers du développement cognitif.

Pour lui, le développement cognitif implique d'apprendre à inhiber certaines structures ou idées concurrentes pour en laisser une autre s'exprimer, allant même jusqu'à dire que « penser, c'est inhiber » (Houdé, 1995, 1999, 2000). Il illustre cette approche en fonction de quatre exemples expérimentaux, classés de l'enfance à l'âge adulte : la construction d'objet, les nombres, la catégorisation et le raisonnement.

2.2.1. La construction d'objet

La construction d'objet n'est pas un concept introduit par Houdé, puisqu'il s'agit d'une notion qui a été étudiée par Piaget. Cependant, Houdé n'est pas d'accord avec l'interprétation que ce dernier en fait. Dans ses travaux, Piaget (1954) fait référence au phénomène « A-not-B » observable chez les enfants en bas âge. Dans cette expérience, on cache répétitivement derrière un obstacle A un objet convoité par l'enfant. Éventuellement, on cache, au vu et au su de l'enfant, le même objet derrière

l'obstacle B. Piaget observe alors que l'enfant continuera à chercher l'objet derrière l'obstacle A, même s'il a vu l'objet être caché derrière B. Il explique ce phénomène par un manque de permanence de l'objet. Or, Houdé, s'appuyant sur Baillargeon (1987) ainsi que sur Diamond (1991), croit qu'il s'agit avant tout d'un problème d'inhibition. Ainsi, Baillargeon (1987) démontre que le concept de permanence de l'objet existe chez des enfants plus jeunes que ceux étudiés par Piaget. Pour Diamond, le résultat peut davantage être expliqué par un réflexe moteur qui n'a pu être inhibé. En effet, l'enfant ayant développé le réflexe de chercher derrière l'obstacle A continuera de le faire tant qu'il ne pourra inhiber ce réflexe. Selon Houdé (2000), les premiers signes d'intelligence (chercher l'objet au bon endroit) sont déjà caractérisés par la capacité d'inhiber quelque chose : « Already in infancy, then, being intelligent means inhibiting ».

2.2.2. Les nombres

Contrairement à ce que Piaget avançait, des enfants d'à peine quatre à cinq mois sont capables de détecter une violation de la conservation du nombre (Houdé, 2000). Les expériences de Wynn (1992, 1995) semblent en effet démontrer que les capacités d'interprétation des informations numériques de si jeunes enfants dépendent d'une capacité à effectuer un calcul exact plus que d'une perception plus globale des quantités.

Piaget (1952) expliquait que les jeunes de cet âge échouaient systématiquement une tâche de conservation du nombre consistant à choisir, entre deux rangées contenant le même nombre d'objets, mais dont l'une est disposée de façon à paraître plus longue, celle qui contient le plus d'objets. Selon lui, on peut expliquer ces échecs par le fait que ces enfants en sont encore à une sorte de phase « préopérante » primitive ne se servant toujours que de l'intuition pour évaluer les quantités. De son côté,

Houdé (2000) avance que des études telles que celle de Wynn contredisent cette conclusion et qu'il faut plutôt chercher du côté de l'inhibition pour expliquer les observations de Piaget. Ainsi, un premier réflexe, que l'on utilise d'ailleurs toujours à l'âge adulte, consistant à utiliser les informations visuospatiales afin d'estimer les quantités interfère sur la capacité de l'enfant à effectuer le dénombrement des objets, ce qui rend la tâche demandée pratiquement impossible à réussir pour un enfant qui en est à ce stage de son développement.

Plus récemment, Houdé (Houdé *et al.*, 2011) a repris la tâche piagétienne de conservation du nombre, mais l'a testée en utilisant l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. Lors de cette expérience, il utilisa des sujets « non-conservateurs », des jeunes de 5 et 6 ans qui échouèrent la tâche piagétienne, ainsi que des sujets « conservateurs », des jeunes de 9 et 10 ans qui la réussirent avec succès. Chez les sujets conservateurs, mais pas chez les non-conservateurs, Houdé observa l'activation du gyrus frontal inférieur, une partie du cerveau normalement associée à l'inhibition d'informations se situant dans la mémoire de travail. Pour Houdé, les fonctions de traitement de l'information, particulièrement l'information numérique, dépendent donc principalement de la capacité de l'individu à inhiber.

2.2.3. La catégorisation

Houdé (1992) démontre que, bien qu'ils soient capables de réussir la tâche piagétienne classique de catégorisation dès l'âge de sept ou huit ans, les enfants ne parviennent pas réellement à démontrer leur capacité de catégoriser les objets avant un âge plus avancé. En effet, alors que des enfants de sept ou huit ans sont capables de répondre à la question « Y a-t-il plus de A que de B? » alors que A fait partie de B, il faut attendre l'âge de dix ou onze ans avant de les voir répondre correctement à la

question « Y a-t-il quelque chose que l'on pourrait faire pour avoir plus de A que de B? », qui traite pourtant des mêmes concepts.

Pour illustrer cette situation, Houdé (2000) présente l'exemple d'enfants à qui on donne dix marguerites et deux roses avant de leur poser ces mêmes questions. Les enfants répondent alors correctement qu'il y a plus de B (des fleurs, au nombre de 12 : marguerites + roses) que de A (les marguerites, au nombre de deux), mais prétendent qu'il est possible d'avoir plus de A que de B en ajoutant des marguerites ou en retirant des roses, ce qui devrait être interprété par la théorie piagétienne comme un indice témoignant du fait que l'enfant ne dispose pas encore de la capacité de raisonner logiquement puisqu'il traite A et B comme deux classes distinctes. Pour Houdé, la réussite d'un enfant à cette tâche modifiée dépend plutôt de sa capacité à inhiber la routine d'addition et de soustraction à laquelle fait appel la tâche traditionnelle (l'enfant comprend que les marguerites et les roses sont des fleurs et peut donc faire le calcul pour répondre correctement qu'il y a plus de fleurs que de marguerites) afin d'intégrer les facteurs plus importants comme la relation d'inclusion des objets dans une classe (l'enfant peut alors éviter le piège de l'addition systématique voulant qu'ajouter des marguerites permettrait d'avoir plus de marguerites que de fleurs, car il réalise alors qu'ajouter des marguerites revient à ajouter aussi des fleurs).

2.2.4. Le raisonnement

Bien que plusieurs études se soient penchées sur la capacité de déduction chez les adolescents et les adultes, Houdé (2000, citant Evans, Newstead & Byrne, 1993) explique que les compétences déductives de l'esprit logique (*logical mind*, dans le texte de Houdé) décrites par Piaget ne peuvent pas toujours être confirmées, puisque plusieurs preuves très convaincantes provenant de la recherche sur le biais de

raisonnement (*reasoning bias*, dans le texte de Houdé) démontrent le caractère irrationnel de la pensée des adolescents et des adultes lorsque confrontés à une source de biais cognitif telle que le biais de confirmation (préférer les éléments qui confirment une hypothèse malgré la présence d'éléments l'infirmant) ou la dissonance cognitive (réinterpréter une situation afin d'en éliminer les contradictions apparentes).

Or, les tests d'imagerie cérébrale effectués par Houdé (1999, 2000) démontrent que de telles erreurs de raisonnement ne seraient pas dues à une incapacité à déduire logiquement, mais plutôt à une incapacité à inhiber la source de biais, faisant ainsi en sorte que des informations pertinentes au raisonnement sont mises de côté alors que d'autres, moins pertinentes, sont prises en compte. Ces résultats démontrent également un déplacement des structures cérébrales utilisées lors de tâches de raisonnement logique de la partie postérieure (liées aux perceptions, surtout visuelles) vers la partie préfrontale gauche au fur et à mesure que la fonction d'inhibition entre en jeu, montrant que l'inhibition a bel et bien un effet sur la capacité à effectuer un raisonnement logique.

2.2.5. Une définition opérationnelle

Pour les besoins de notre recherche, l'inhibition sera considérée comme étant une fonction exécutive potentiellement importante dans le développement de l'intelligence. Chez de jeunes enfants, elle permet d'empêcher l'exécution de certains réflexes moteurs et mentaux nuisibles à l'expression de signes d'intelligence. Chez les plus vieux, elle permet de trier les informations reçues afin d'éliminer les sources de biais, sensoriels comme cognitifs, pouvant influencer l'exécution d'un raisonnement logique. Cette définition s'accorde également avec le modèle de Miyake et Friedman (Miyake *et al.*, 2000), selon lequel l'inhibition est décrite

comme étant la capacité de supplanter une réponse qui serait normalement prévalente dans un contexte donnée. Dans ce modèle, l'inhibition est l'une des trois fonctions exécutives, aux côtés de la mise à jour (*updating*, en anglais), la capacité de rapidement faire des ajouts ou des suppressions au contenu de sa mémoire de travail, et la flexibilité mentale (*shifting*, en anglais), la capacité de passer d'une tâche ou d'un état mental à un autre.

À la lumière de ces informations, et en faisant référence aux travaux de Dunbar (Fugelsang & Dunbar, 2005; Dunbar & Stein, 2007) et Shtulman (Shtulman & Valcarcel, 2012), le changement conceptuel pourrait être décrit comme le moment où une conception initiale cesse de prévaloir au profit d'une nouvelle, conclusion à laquelle Potvin (à paraître) semble également souscrire. Dans le contexte scolaire, l'inhibition sera considérée comme le mécanisme par lequel le cerveau empêche la prévalence de conceptions jugées comme étant moins conformes au savoir scientifique afin que, idéalement, d'autres conceptions plus adéquates puissent s'exprimer. En quelque sorte, l'inhibition permet d'assurer l'ancrage d'une nouvelle conception dans la mémoire à long terme même si une conception concurrente, mais caduque, s'y trouve déjà pour expliquer un phénomène donné.

2.3. La recherche de Kwon et Lawson

Avant même les travaux de l'équipe de Dunbar, une autre recherche avait déjà établi un lien possible entre l'inhibition et le changement conceptuel, et ce malgré le fait qu'elle ne faisait pas appel à l'imagerie cérébrale. Lors de cette étude, Kwon et Lawson (2000) évaluèrent l'importance du développement cognitif à l'adolescence sur l'acquisition de certains concepts scientifiques. Ils évaluèrent donc plusieurs fonctions cognitives, dont la fonction d'inhibition, dans le but de les comparer à l'évolution de conceptions reliées à la pression des gaz. Utilisant des moyens peu

coûteux et une méthodologie relativement simple, l'étude de Kwon et Lawson constitue l'inspiration principale de notre propre recherche.

2.3.1. Objet de la recherche

Cette étude avait pour but de tester la théorie selon laquelle l'acquisition de concepts théoriques, en tant que produit de l'enseignement des sciences, dépend largement de l'état du développement des capacités de raisonnement hypothético-déductives nécessaires au rejet des conceptions erronées engendrées par l'intuition.

2.3.2. Échantillonnage

Pour les besoins de l'étude, Kwon et Lawson sélectionnèrent 210 volontaires de 13 à 17 ans, soient 109 garçons et 101 filles. Les volontaires furent sélectionnés dans deux écoles secondaires de premier cycle (*junior high*) ainsi que dans deux écoles secondaires de deuxième cycle (*senior high*), une école de chaque cycle étant située en banlieue, les autres dans une grande métropole. Les volontaires étaient des élèves de la huitième à la onzième année répartis dans 8 classes, deux dans chacune des écoles participant à l'étude.

2.3.3. Méthodologie

Cette étude a été réalisée selon une méthodologie de type pré-test/post-test. Au départ, cinq fonctions cognitives ainsi que les conceptions des sujets reliées à la pression des gaz furent testées; le test conceptuel devait par la suite être repris à la fin de l'étude, de façon à pouvoir observer l'importance que les différentes fonctions

cognitives étudiées pourraient avoir sur la capacité des sujets à effectuer des changements conceptuels.

La fonction d'inhibition fut d'abord mesurée par l'administration du test du tri de cartes du Wisconsin (*Wisconsin Card Sorting Test*). La capacité de planification fut ensuite mesurée grâce au test de la Tour de Londres (*Tower of London Test*). Troisièmement, le test des figures imbriquées (*Group Embedded Figures Test*) servit à mesurer la capacité de discernement visuel (*disembedding ability*). La mémoire de travail (*mental capacity*), quant à elle, fut mesurée à l'aide du test des intersections de figures (*Figural Intersection Test*). Finalement, on employa une version écourtée du test de raisonnement scientifique en classe de Lawson (*Lawson's Classroom Test of Scientific Reasoning*) pour mesurer la capacité de raisonnement scientifique des sujets.

Afin de quantifier les changements conceptuels effectués par les sujets, Kwon et Lawson conçurent un test d'inventaire des conceptions liées à la pression des gaz. Ce test était constitué de six questions auxquelles les sujets étaient invités à répondre par un court texte de quelques lignes. Lors de la correction, deux points étaient accordés pour une bonne réponse, un point pour une réponse partiellement adéquate et aucun point pour une mauvaise réponse.

Entre les séances de collecte de données pré-test et post-test, on administra aux sujets une série de quatorze leçons portant sur les gaz, plus particulièrement sur la théorie cinétique. En soustrayant les résultats au test d'inventaire des conceptions obtenus au pré-test à ceux obtenus au post-test, les auteurs obtinrent ce qu'ils appelèrent le gain conceptuel. Cette mesure avait pour but de mettre en évidence l'évolution des conceptions des sujets afin d'obtenir une mesure du changement conceptuel qu'ils auraient pu vivre. En effet, en supposant que les sujets aient effectué des changements conceptuels, on devrait normalement observer une hausse de leur performance à un

test visant justement à illustrer leur niveau de maîtrise conceptuelle (Kwon & Lawson, 2000).

2.3.4. Résultats et analyse

Une analyse de régression fut faite en fonction de plusieurs variables. Tout d'abord, Kwon et Lawson comparèrent les différentes capacités cognitives étudiées avec la performance finale au test sur les concepts liés à la pression des gaz. L'analyse révéla que plus de 50% de la variance pouvait être expliquée par la capacité de raisonnement scientifique seule, alors que l'inhibition ne semblait expliquer que 4% de cette même variance.

Kwon et Lawson décidèrent également de comparer ces mêmes capacités cognitives au gain conceptuel, précédemment défini comme étant la différence entre les résultats pré-tests et post-tests au test d'inventaire des conceptions liées à la pression des gaz. Cette donnée correspond donc à une mesure du changement conceptuel, les conceptions des sujets ayant pu évoluer entre les deux tests. Les analyses révélèrent alors que la fonction d'inhibition pouvait expliquer 28% de la variance du gain conceptuel, quatre fois plus que la seconde variable en importance, soit la capacité de raisonnement scientifique.

Selon les chercheurs, ces résultats suggèrent que les sujets ayant fait le plus de « gains » d'un test à l'autre l'ont fait parce qu'ils ont été capables d'inhiber l'information inutile. Par exemple, les pré-tests ont démontré que deux conceptions erronées étaient très répandues, soient la croyance en une forme de force de succion indépendante de la pression ainsi que la croyance en le fait que l'air n'a pas de masse. Kwon et Lawson proposent donc que ces croyances, obstacles majeurs à la bonne compréhension des notions enseignées, doivent d'abord être inhibées, ce qui n'est pas

sans rappeler les conclusions de Dunbar (Fugelsang & Dunbar, 2005; Dunbar, 2007) et de Shtulman (Shtulman & Valcarcel, 2012). Seulement une fois cette tâche accomplie serait-il alors possible de se représenter mentalement le modèle cinétique, un modèle plutôt abstrait, afin de finalement l'assimiler.

2.3.5. Critiques à l'encontre des résultats de Kwon et Lawson

Malgré le fait que les conclusions de Kwon et Lawson soient très intéressantes, il convient de décrire quelques lacunes méthodologiques qui pourraient avoir une incidence sur la portée de leurs affirmations. Premièrement, il apparaîtrait que l'inhibition, de l'aveu même des auteurs, soit une fonction cognitive très volatile durant l'adolescence, étant potentiellement sujette à de brusques changements (Kwon & Lawson, 2000). Il n'est donc pas impossible que la corrélation observée par Kwon et Lawson ait pu être influencée par une variation imprévue de la capacité d'inhibition de leurs sujets. L'utilisation de sujets adultes, dont la capacité d'inhibition devrait être plus stable, aurait pu permettre d'accorder plus confiance à leur conclusion. Cependant, comme leur but principal était d'étudier le développement de diverses fonctions cognitives spécifiquement à l'adolescence, une telle solution ne pouvait être envisagée. Par contre, il aurait été souhaitable qu'ils reprennent lors de la séance post-test tous les tests utilisés lors du pré-test, et non seulement l'examen portant sur les conceptions liées aux gaz. De cette façon, il aurait été possible d'évaluer la variation individuelle de chacun des sujets pour chacune de ces fonctions cognitives, ce qui aurait pu par le fait même éliminer une source de biais non négligeable.

Une seconde critique importante qu'il est possible d'adresser à Kwon et Lawson concerne le fait que les leçons données aux élèves participant à l'étude portaient spécifiquement sur les questions de l'examen utilisé. En effet, lorsque l'on regarde les

différentes questions de l'examen et le contenu des différents cours, on remarque que, pour chacune de ces questions, deux ou trois cours portaient spécifiquement sur les exemples qu'elles contenaient. Qu'il s'agisse de l'expérience classique de l'œuf cuit dur que l'on fait pénétrer à l'intérieur d'une bouteille dont le goulot est apparemment trop petit à l'aide d'une flamme, de l'air qui pénètre dans les poumons lors de la respiration ou du liquide qui s'élève dans une paille lorsque l'on aspire, toutes les questions de l'examen sont reprises textuellement dans le plan de cours que proposent les auteurs, une pratique qui pourrait permettre d'engendrer de très bons résultats à l'examen alors que, dans les faits, les sujets auraient pu ne pas véritablement effectuer de changements conceptuels, se contentant plutôt d'apprendre les réponses. Afin d'éviter cette situation, les auteurs auraient dû concevoir leur plan de cours en utilisant des exemples semblables, mais non identiques, à ceux auxquels l'examen faisait référence, de sorte qu'il aurait été impossible pour les sujets d'étudier les questions, devant plutôt se fier à leur compréhension des concepts abordés pour répondre à l'examen. De cette façon, on aurait pu accorder plus de confiance à la mesure du gain conceptuel ainsi obtenue.

2.3.6. Le gain conceptuel

Dans leur étude, Kwon et Lawson définirent leur variable dépendante, le gain conceptuel, comme étant la différence entre les résultats obtenus par les sujets lors de deux tests visant à évaluer l'état de leurs conceptions concernant la pression des gaz, l'un se déroulant avant une série de cours portant sur ces notions, l'autre après. Dans le cadre de notre recherche, le terme de gain conceptuel sera utilisé pour représenter le même phénomène, à la différence près que les tests évalueront l'état des conceptions des sujets sur le concept de force tel que vu en physique mécanique. De cette façon, il sera possible d'obtenir une appréciation quantitative des changements conceptuels que les sujets effectueront, pour autant que le test choisi pour effectuer

cette mesure ne présente pas les mêmes faiblesses que celui utilisé par Kwon et Lawson.

2.4. Questions spécifiques et hypothèses de recherche

Dans notre recherche, nous tenterons de déterminer, comme il le fut établi dans la problématique, le lien entre la capacité d'inhibition et le changement conceptuel en physique. Pour ce faire, nous vérifierons, comme Kwon et Lawson l'ont fait avec la pression des gaz, l'existence d'une corrélation entre l'évolution de conceptions spécifiques reliées aux forces et la capacité d'inhibition de nos sujets.

Ainsi, à la lumière de la problématique, des concepts explorés dans le cadre théorique, et des objectifs de recherche identifiés précédemment, la question de recherche suivante est formulée :

- ❖ Quelle est la relation entre le changement conceptuel et la capacité d'inhibition?

En fonction des éléments du cadre théorique, nous formulons donc l'hypothèse générale suivante :

- ❖ Il existe une corrélation positive significative entre le changement conceptuel et l'inhibition.

En considérant la méthodologie expérimentale qui sera proposée à la section suivante, nous aurons l'occasion de tester cette hypothèse en trois occasions distinctes. En effet, les résultats obtenus lors des séances pré-test et post-test représentent certains apprentissages effectués par les sujets jusqu'au moment de l'examen. Il est donc

possible que ces mesures soient suffisantes pour observer une corrélation entre les changements conceptuels qui auront été requis pour maîtriser ces concepts et la capacité d'inhibition des sujets. Nous considérons cependant que le gain conceptuel, tel que défini par Kwon et Lawson, constituera vraisemblablement une meilleure évaluation des changements conceptuels effectués lors de la période expérimentale, puisque cette mesure sera obtenue en soustrayant les scores du pré-test à ceux du post-test, nous donnant ainsi deux points de référence distincts et précis à comparer.

Ainsi, afin d'orienter nos analyses, nous chercherons également à vérifier les hypothèses spécifiques suivantes :

1. Il sera possible d'observer une corrélation significative entre les résultats obtenus lors
 - a. du pré-test avec l'inhibition; et
 - b. du post-test avec l'inhibition.

2. Il sera également possible d'observer une corrélation entre le gain conceptuel et l'inhibition qui sera
 - a. positive; et
 - b. inférieure à celle observée par Kwon et Lawson (2000).

Nous faisons l'hypothèse (2b) que la corrélation sera inférieure, car notre méthodologie sera, à notre avis, plus objective que celle de Kwon et & Lawson puisqu'elle fera usage d'un test qui a fait l'objet d'une validation plus serrée, le *Force Concept Inventory*, et pour lequel les gains sont habituellement très humbles, malgré un enseignement qui tente de les obtenir (Halloun & Hestenes, 1985). Il se peut donc que la variance observée sur la variable dépendante (le gain conceptuel) soit plus faible, ce qui entraînerait la baisse anticipée de la force de la corrélation.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

Cette recherche s'inscrit dans un paradigme positiviste, qui considère que seule une analyse vérifiée par l'expérience pourra mener à une réelle compréhension du monde sensible (Kremer-Marietti, 2006). Conséquemment, une approche fondamentale, empirique, vérificatoire et quantitative fut retenue. En effet, puisque cette recherche ne prétend pas résoudre un problème observable dans la pratique enseignante, mais vise plutôt une meilleure compréhension des processus cérébraux liés à l'apprentissage, une recherche appliquée n'aurait pas été appropriée. À la section précédente, quelques hypothèses de recherche ont été dégagées du cadre théorique que la méthodologie retenue devra permettre de vérifier. De ce fait, une approche vérificatoire s'imposait.

3.1. Devis expérimental et déroulement des opérations

Afin de permettre une meilleure comparaison avec les résultats obtenus par Kwon et Lawson, il fut décidé d'utiliser une méthodologie très similaire. Cependant, puisque les différentes séances de collecte de données devraient se dérouler à l'intérieur des heures de cours des sujets, et donc afin de limiter le temps requis par le processus, il a été décidé que la recherche se limiterait à l'étude de l'influence d'une seule variable sur le changement conceptuel, celle de l'inhibition. Ainsi, l'expérimentation s'est construite autour d'un devis pré-expérimental de type $O_1 - X - O_2$, où O_1 et O_2 représentent les séances de collecte de données et X la phase expérimentale, soit un cours universitaire de physique mécanique comportant 15 cours magistraux de trois heures, mais également 15 séances de travaux pratiques, de trois heures également.

De plus, comme il le sera expliqué plus en détail à la prochaine section, les sujets étaient tous des étudiants de l'ÉTS inscrits au trimestre d'été 2012; il fallut donc tenir compte de leur horaire afin de minimiser l'impact que la collecte de donnée pourrait avoir sur la qualité de leur formation. Puisque le trimestre débutait dans la semaine du lundi 30 avril 2012, il fut décidé, conformément aux souhaits des professeurs et chargés de cours s'étant portés volontaires, que les premières séances de collecte de données s'effectueraient lors de la première séance de travaux pratiques prévue à l'horaire, soient les 7 et 9 mai 2012, tout dépendant du groupe. Pour les séances post-tests, il fut convenu qu'elles auraient lieu lors des séances de travaux pratiques des 23 et 25 juillet 2012, de façon à minimiser l'impact qu'elles auraient sur la période d'examens de fin de trimestre prévue pour les semaines des lundis 30 juillet et 6 août 2012. Il s'agit d'un compromis qui semblait satisfaisant pour tous, puisque le seul cours prévu après la dernière séance de collecte de données servirait de période de révision avant les examens de fin de trimestre, ce qui permit d'inclure presque la totalité du contenu du cours dans la période expérimentale. En effet, hormis le tout premier cours du trimestre, dont une bonne partie fut utilisée à la lecture du plan de cours, toutes les périodes d'enseignement, ainsi que la majorité des séances de travaux pratiques, eurent lieu entre les séances de collecte de données. Pour plus de clarté, un calendrier est disponible en annexe à l'appendice A.

3.2. Population, échantillonnage et considérations éthiques

Kwon et Lawson (2000) ont démontré, même si ce n'était pas l'objectif principal de leur recherche, que la fonction d'inhibition évoluait beaucoup avec l'âge lors de l'adolescence. Puisque les différentes collectes de données allaient être séparées de plusieurs semaines, une trop grande variation entre la fonction d'inhibition initiale et finale d'un sujet aurait pu entraîner un biais important. C'est pourquoi un échantillon d'âge adulte était nécessaire. Le recrutement de volontaires s'est fait au niveau

universitaire, plus particulièrement à l'École de Technologie Supérieure (ÉTS), en utilisant principalement un échantillonnage de convenance. En effet, l'aide de professeurs et chargés de cours qui donnent le cours ING150 a initialement été sollicitée. Ce cours était particulièrement intéressant dans le cadre de notre recherche, car il s'agit premier cours de physique mécanique du curriculum de l'ÉTS et qu'il porte principalement sur les concepts reliés aux forces. Trois chargés de cours se sont montrés intéressés par l'étude, ce qui nous a permis, lors du trimestre d'été 2012, d'entrer en contact avec près de 100 étudiants. De ceux-ci, 89 se sont portés volontaires et ont donc participé à la séance de pré-test. Toutefois, seulement 52 d'entre eux ont pu être présents pour la séance de post-test en fin de trimestre.

Afin de nous assurer que les étudiants qui se portaient volontaires le faisaient en toute connaissance de cause, un formulaire de consentement leur fut distribué. Ce formulaire était accompagné d'une séance d'information durant laquelle on en reprenait certains éléments, pour le bénéfice des sujets potentiels, tels que le but général du projet de recherche, les risques et avantages qui y sont associés, les instruments de mesure utilisés ainsi que les normes de confidentialité qui seraient respectées vis-à-vis de l'identité des participants et de leurs réponses aux différents questionnaires et tests. Pour plus de détails, une copie du formulaire de consentement, tel qu'il a été approuvé par le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPÉ) de la faculté des sciences de l'éducation de l'UQÀM, est disponible en annexe à l'appendice B.

3.3. Instruments de mesure

Afin de bien évaluer les variables étudiées, deux instruments de mesure furent nécessaires. Le premier a servi à mesurer la capacité d'inhibition des sujets, la variable indépendante de l'étude. Le second devait donc mesurer l'évolution des

conceptions des sujets en ce qui a trait au concept de force tel que vu en physique mécanique.

3.3.1. Le test du tri de carte du Wisconsin

Le test de tri de carte du Wisconsin (*Wisconsin card sorting test*, ou WCST) a été choisi afin de mesurer la fonction d'inhibition des sujets. Le WCST a été conçu afin de mesurer la capacité du sujet à s'adapter à un schéma de renforcement qui change spontanément (Berg, 1948). Il s'agit d'un test très populaire, ayant été cité dans plus de 600 articles de recherche (Greve, Stickley, Love, Bianchini, Stanford, 2005), en plus d'être, selon Houdé (2003), couramment utilisé par les chercheurs étudiant l'inhibition. Il présente également l'avantage d'avoir été utilisé avec succès en conjonction avec des techniques d'imagerie cérébrales modernes (Monchi, Petrides, Petre, Worsley & Dagher, 2001), de sorte qu'on dispose maintenant de preuves supplémentaires de la capacité du WCST à mesurer l'inhibition.

En pratique, ce test utilise un ensemble de cartes très semblables à des cartes à jouer. Ces cartes, qui forment la base du WCST, peuvent être décrites en utilisant trois critères : le symbole qui y figure, la couleur de ce symbole et le nombre de fois que le symbole y est représenté. Avant de débiter le test, on présente au sujet un ensemble de quatre de ces cartes, qui serviront de références pour le reste des opérations.

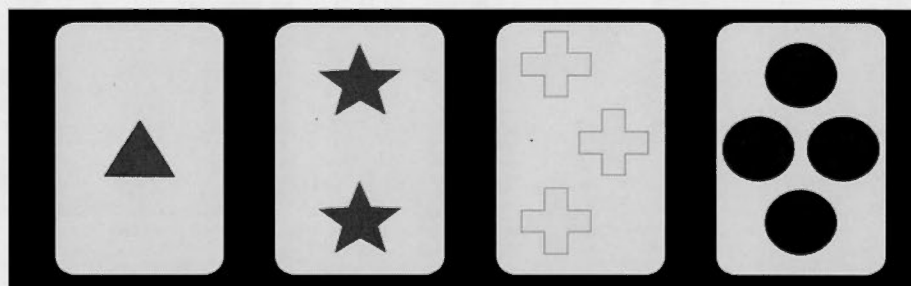


Figure 3.1 : Les quatre cartes de référence du WCST telles que présentées dans le logiciel PEBL.

Lors de l'administration du test, le sujet est confronté, une à la fois, à plusieurs autres cartes qui, comme les cartes de référence, présenteront elles aussi un certain nombre de symboles d'une couleur particulière. La tâche des sujets consiste alors à « trier » ces cartes en indiquant à quelle pile, représentée par les cartes de base, la nouvelle carte devrait être ajoutée. Pour ce faire, les sujets doivent, par un processus d'essais et erreurs, déterminer laquelle des trois caractéristiques (couleur, symbole ou nombre) gouverne le tri. Par exemple, la carte « 3 étoiles bleues » pourrait être classée dans la seconde pile (les deux étoiles vertes) si le symbole était la caractéristique déterminante. S'il s'agissait plutôt du nombre, la carte devrait alors être classée dans la troisième pile (les trois croix jaunes). Finalement, dans le cas où la couleur serait la caractéristique déterminante, la carte devrait être mise dans la quatrième pile (les quatre cercles bleus). Comme seule rétroaction, le sujet reçoit un simple message qui lui indique si l'association proposée est « correcte » ou « incorrecte ». Que le sujet réponde correctement ou non, on passe à une autre carte.

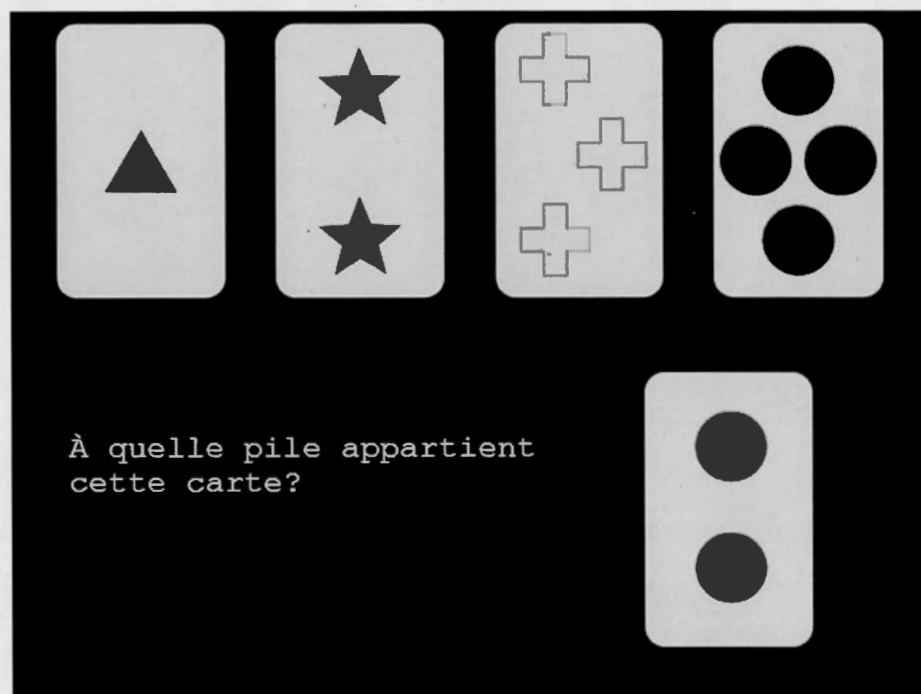


Figure 3.2 : Exemple de carte à trier dans la version PEBL du WCST.

Durant le déroulement du test, la règle qui gouverne le tri des cartes change chaque fois que le sujet réussit à classer correctement 10 cartes dans les bonnes piles. Le sujet est averti dès le départ que la règle peut changer, mais il ne connaît ni l'algorithme selon lequel la nouvelle règle est déterminée, ni le moment où elle changera. À toutes fins utiles, pour le sujet, la règle change aléatoirement. La tâche du sujet, dès lors qu'une nouvelle règle entre en vigueur, consiste à trouver le plus rapidement cette règle, plutôt que de persister à utiliser l'ancienne, maintenant caduque. Lorsqu'un sujet persiste à utiliser une règle désuète, il commet alors ce que l'on appelle une « erreur de persévération ». Plus ce nombre d'erreurs est grand, moins on considère que sa capacité d'inhibition est élevée (Kwon & Lawson, 2000), puisqu'il n'a pas été en mesure d'inhiber son réflexe de persévérer à utiliser la mauvaise règle malgré le fait qu'on lui aura clairement signifié, dès qu'il l'aura testé sur une nouvelle carte, qu'elle n'était plus valide.

Dans le cadre de cette recherche, une version électronique du WCST a été utilisée. Cette version est disponible gratuitement sur le site *Psychology Experiment Building Language* (pebl.sourceforge.net), un groupe visant le développement d'outils de recherche gratuits en psychologie. Le logiciel PEBL, dont la banque de test contient le WCST, se veut une plateforme flexible et légère dont les fonctionnalités sont très semblables à E-Prime, un autre logiciel très populaire servant à administrer des tests de ce genre, généralement en psychologie. Les sujets reçoivent comme consigne, conformément à notre souhait de préserver leur anonymat, d'entrer dans le logiciel la partie numérique de leur code permanent en tant que numéro d'identification, un numéro qui n'a aucune signification sans la liste des étudiants de l'École de Technologie Supérieure et qui a l'avantage d'être facilement mémorisable. Il s'agit d'une caractéristique importante, puisque c'est ce numéro qui permet de relier entre eux les résultats du pré-test et du post-test.

Lors de l'administration du test, les sujets eurent droit à un exposé oral des consignes du WCST, en plus d'une version écrite qui s'affichait automatiquement à l'écran dès que le test était lancé dans le logiciel PEBL. Le logiciel était configuré pour exiger le tri de 128 cartes, dans un ordre et selon des règles spécifiques, identiques à ceux utilisés dans les travaux de Berg (1948). Une fois les opérations complétées, le logiciel PEBL devait créer un fichier bien identifié avec le nom du test et le numéro d'identification du sujet, dans lequel on pourrait retrouver le nombre d'erreurs effectuées par le sujet, classées selon deux catégories : les erreurs de persévération et les erreurs dites « régulières ». On qualifiera de régulière toute erreur qui n'est pas une erreur de persévération. Par exemple, lorsqu'un sujet réalise que la règle de tri a changé, il essaiera de classer les cartes selon un nouveau critère. Comme il existe trois critères de classification, dès lors que l'un d'eux est invalidé, il en reste toujours deux autres qui pourraient être utilisés. Ainsi, même si le sujet réagit correctement en utilisant un autre critère comme règle de tri, il a quand même 50% de chance de commettre une erreur. Ces erreurs sont normales et ne doivent pas être considérées lors de l'évaluation de la capacité d'inhibition du sujet.

Ainsi, lors de l'analyse des résultats obtenus au WCST par les sujets, seules les erreurs de persévération seront comptabilisées. Cependant, puisqu'un nombre élevé d'erreurs correspond à une faible capacité d'inhibition, les tableaux et graphes qui en découleront seront possiblement difficiles à interpréter puisqu'ils seraient présentés de façon contre-intuitive. Pour cette raison, il fut décidé que le score associé à l'inhibition des sujets serait obtenu en multipliant leur nombre d'erreurs de persévération par moins un (-1). De cette façon, plus le score d'un sujet sera élevé, donc se rapprochant de zéro, plus on pourra considérer que sa capacité d'inhibition est élevée. Cette manipulation, où seul le signe associé au score changera, ne devrait avoir aucun effet sur les analyses statistiques tout en permettant une interprétation plus intuitive des graphes qui seront tracés.

3.3.2. Le *Force Concept Inventory*

Kwon et Lawson (2000) définissent le gain conceptuel comme étant la différence entre les résultats pré et post-expérimentation d'un sujet à un test d'inventaire de conceptions. Cette mesure est intéressante, puisqu'elle permet d'évaluer la quantité de changements conceptuels qui ont été effectués chez un sujet donné lors de l'expérimentation, plutôt que de simplement dresser le portrait de ses conceptions à un moment particulier dans le temps. En effet, en supposant que le sujet ait bel et bien réalisé des changements conceptuels, il répondra correctement lors du post-test à des questions auxquelles il avait répondu de façon erronée lors du pré-test, et cette différence entre les deux tests, qui portent normalement sur les mêmes concepts, devient alors un indicateur des concepts qui auront été acquis durant la période expérimentale en remplacement des conceptions naïves que le sujet entretenait au moment de répondre au pré-test.

Dans le cadre de cette recherche, il s'agira donc d'utiliser un test permettant de faire un inventaire précis des conceptions reliées aux forces telles que vues en physique mécanique. Le *Force Concept Inventory* (FCI) est l'un de ces outils : développé par Hestenes, Halloun, Wells et Swackhamer (Halloun et Hestenes, 1985; Hestenes, Wells et Swackhamer, 1992) afin d'évaluer la compréhension de concepts reliés aux forces chez des étudiants universitaires, il s'agit d'un test à choix multiples dont la validité interne a été vérifiée lors d'une étude statistique récente (Lasry, Rosenfield, Dedic, Dahan & Reshef, 2011).

Halloun et Hestenes, professeurs de physique au *Arizona State University*, observèrent que, malgré de bons résultats aux examens, les étudiants semblaient avoir une mauvaise compréhension des phénomènes de base de la physique mécanique. Lors de leurs premières études, ils arrivèrent à la conclusion que les étudiants entretenaient des conceptions naïves (« *common sense conceptions* », dans le texte

original) qui pouvaient avoir un grand effet sur leur capacité à comprendre les phénomènes étudiés, les étudiants semblant favoriser un apprentissage « par cœur » moins efficace lorsque les concepts enseignés différaient de ces conceptions naïves (Halloun et Hestenes, 1985). C'est dans le but spécifique d'étudier ce phénomène que le *Force Concept Inventory* fut conçu.

Avant de procéder à l'élaboration du questionnaire du FCI tel qu'il est connu à ce jour, les auteurs prirent grand soin, à l'aide d'entrevues, de mettre en évidence les conceptions naïves qu'entretenaient leurs étudiants. Dans sa version actuelle, le FCI comporte trente questions à choix multiples où chaque choix, hormis la bonne réponse, correspond à une conception naïve populaire identifiée par le processus d'entrevue. Ainsi, un étudiant qui n'a pas atteint un niveau de maîtrise des concepts de physique touchés par le questionnaire sera très susceptible de tomber dans le « piège » et de sélectionner un choix de réponse erroné, mais qui correspond pourtant à sa perception de la réalité. Ceci n'est pas sans rappeler les travaux de Dunbar et Stein (2007), ainsi que ceux de Shtulman et Valcarcel (2012), selon lesquels il est possible d'identifier un changement conceptuel par la capacité d'un sujet à inhiber les interférences engendrées par les conceptions naïves. De cette façon, puisque tous les mauvais choix de réponses représentent un piège, seuls les sujets ayant réellement effectué un changement conceptuel devraient être en mesure de répondre correctement de façon soutenue.

Dans notre recherche, une version électronique du FCI, sous la forme d'un formulaire en format PDF, fut utilisée. Avant de procéder au test, les sujets reçurent comme consigne de ne pas répondre au hasard et que, en cas de doute, ils devraient sélectionner le choix de réponse qui s'accordait le mieux avec leur pensée. Dans le questionnaire en tant que tel, cette consigne était reprise à l'écrit, en plus des consignes nécessaires à l'identification des formulaires; chaque sujet devait donc entrer son numéro d'identification, le même que pour le WCST. Une fois ces données

bien saisies, les sujets bénéficièrent de trente minutes pour répondre aux trente questions du test. Lors de la correction des questionnaires, un point fut accordé pour une bonne réponse et aucun ne le fut pour une mauvaise réponse. Chaque sujet se vit alors attribuer un score sur trente, puisqu'il y avait trente questions au FCI, qui dressait un portrait de son niveau de compréhension des concepts reliés aux forces à deux moments précis du trimestre, soient le début et la fin du trimestre.

Lorsque la période expérimentale fut terminée et que toutes les données furent recueillies, il devenait alors possible de vérifier les hypothèses retenues. Pour ce faire, on utilisa les scores obtenus au FCI lors du pré-test et du post-test, ainsi que le gain conceptuel calculé, conformément à la définition de Kwon et Lawson (2000), en soustrayant pour chaque sujet le score obtenu au pré-test à celui du post-test. Différentes analyses statistiques, qui font l'objet du prochain chapitre, furent donc effectuées afin de tenter d'établir une corrélation entre la capacité d'inhibition des sujets, telle que mesurée par le WCST, et ces trois scores découlant de l'utilisation du FCI, représentant tous, de différentes façons, les changements conceptuels effectués par les sujets.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Selon la méthodologie retenue, les deux tests, le FCI et le WCST, ont été effectués à deux reprises, soient au tout début et à la toute fin du trimestre d'été 2012 de l'ÉTS. Dans ce chapitre, on présentera les résultats des différentes analyses statistiques qui ont été effectuées sur les données récoltées lors de ces séances de test. Il convient toutefois de débiter par quelques considérations techniques, telles que le taux de mortalité expérimentale rencontré et l'identification des tests statistiques qui ont été effectués, et donc également des logiciels les ayant rendus possibles.

Ensuite, afin d'explorer toutes les avenues possibles, l'hypothèse de l'existence d'une corrélation positive entre les instances individuelles du FCI (pré-test et post-test) et l'inhibition telle que mesurée par le WCST sera étudiée. Finalement, conformément à la question de recherche posée dans le cadre théorique et en tenant compte des données recueillies, on cherchera à confirmer les différentes hypothèses retenues, en plus de présenter les résultats des tests statistiques pertinents à la formation d'une conclusion éclairée.

4.1. Mortalité expérimentale et données manquantes

Sur les 89 sujets initiaux, seulement 52 sont revenus pour la seconde séance de test, une mortalité expérimentale de près de 42%. Ceci est sans doute dû au fait que la seconde collecte de données a été effectuée en fin de trimestre, à une ou deux semaines seulement des examens finaux des étudiants qui constituaient l'échantillon de cette recherche. De ces 52 points de données, il était malheureusement impossible de témoigner de la fiabilité de huit d'entre eux. En effet, suite à des problèmes lors du

transfert vers la base de données, les données du pré-test de deux volontaires ont été perdues, ainsi que celles du post-test de six autres. Puisqu'il était important que la capacité d'inhibition des sujets soit relativement constante lors de la durée de l'étude, il a été jugé préférable de ne pas tenir compte de ces données.

4.2. Tests statistiques et logiciels utilisés

Les données ont fait l'objet d'une analyse de régression linéaire selon laquelle le score obtenu au FCI était la variable dépendante et celui obtenu au WCST la variable indépendante. De cette façon, il sera possible d'évaluer la force du lien entre l'inhibition et le changement conceptuel. En effet, le coefficient de régression R permet d'établir la force de la corrélation entre deux variables (Howell, 2008). De plus, le coefficient de régression de Pearson au carré, R^2 , permettra de déterminer quel pourcentage de la variabilité des résultats au FCI est imputable à la capacité d'inhibition, ici représentée par le score obtenu au WCST (Howell, 2008). Ces tests statistiques sont assez simples, et il fut donc possible d'utiliser le tableur Excel pour les effectuer. Il est à noter que, comme la capacité d'inhibition a été contrôlée afin d'être la plus constante possible lors de la période expérimentale, le score moyen au WCST a été utilisé lors de ces analyses plutôt que les scores obtenus aux différentes collectes de données puisqu'il s'agit d'une mesure plus représentative de la capacité d'inhibition des sujets tout au long du trimestre étudié. Dans tous les cas, la significativité des corrélations observées sera évaluée à l'aide d'un score p obtenu par un test bidirectionnel.

4.3. Statistiques descriptives

Dans le cadre de cette recherche, les participants durent répondre deux fois aux différents tests et questionnaires (FCI et WCST). Afin de permettre une meilleure

analyse de la corrélation anticipée, les statistiques descriptives associées aux différentes instances des ces tests sont disponibles aux tableaux 1 et 2.

Tableau 1 : Statistiques descriptives associées au FCI

	Pré-test	Post-test	Gain normalisé	Gain direct
Minimum	4	3	-0,45	-5
Médiane	11	14	0,11	2
Maximum	25	28	0,60	9
Moyenne	12,83	14,79	0,12	1,95
Écart-Type	5,15	5,11	0,18	2,85

Tableau 2 : Statistiques descriptives associées au WCST

	Pré-test	Post-test	Score Moyen
Minimum	-47	-38	-42,50
Médiane	-14	-12	-13,5
Maximum	-9	-6	-8,50
Moyenne	-14,79	-13,50	-14,14
Écart-Type	6,01	5,21	5,17

4.3. Pré-test et post-test au FCI en fonction de la moyenne au WCST

Précédemment, le gain conceptuel a été défini comme étant l'évolution des conceptions d'un individu entre le pré-test et le post-test telle que mesurée par la différence des scores obtenus au FCI. En effet, le FCI a été conçu pour évaluer le niveau de maîtrise des concepts reliés aux forces d'un individu (Hestenes *et al.*, 1992). Ainsi, le score obtenu à une instance unique du FCI représente, du moins dans le cadre de notre recherche, la somme des apprentissages réalisés sur les concepts reliés aux forces jusqu'à l'instant du test, la différence ne servant qu'à identifier la

proportion de ces apprentissages ayant été spécifiquement réalisés durant la période étudiée. Cependant, puisque les scores obtenus ponctuellement au FCI représentent tout de même une certaine quantité d'apprentissages, il serait logique d'observer une corrélation entre ces résultats et la capacité d'inhibition moyenne telle que mesurée par le WCST.

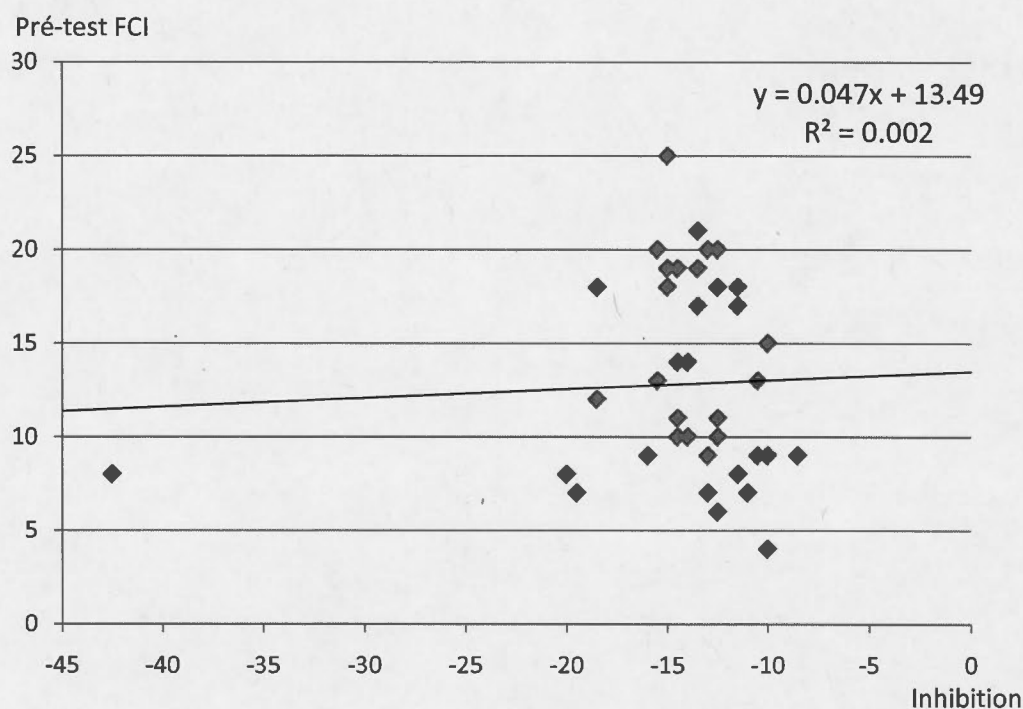


Figure 4.1 : Score au pré-test du FCI en fonction de la capacité d'inhibition

Or, comme on peut le constater dans à la figure 4.1, l'inhibition ne semble pas être un bon prédicteur de la performance des sujets au pré-test du FCI. En effet, bien que les sujets présentent des capacités d'inhibition très semblables, les scores qu'ils ont obtenus au FCI sont très différents, sans que l'on puisse observer une tendance claire.

Tableau 3 : Coefficient de corrélation de Pearson des scores
du pré-test au FCI en fonction de la capacité d'inhibition

Coefficient de Pearson (R)	0,047
Coefficient de Pearson au carré (R^2)	0,002
p	0,767

C'est d'ailleurs ce qui semble se dégager de l'analyse statistique des données dont les résultats sont présentés au tableau 3. En effet, la corrélation entre ces variables est très faible, comme en fait foi le coefficient de corrélation de Pearson (R) de 0,047. Le coefficient R^2 , quant à lui, permet d'établir la valeur prédictive du modèle. Ainsi, la capacité d'inhibition des sujets ne pourrait expliquer que 0,2% de la variance observée dans les scores au FCI lors du pré-test, une valeur très faible, mais qui malheureusement ne permet pas de confirmer notre hypothèse (1a) de recherche selon lesquelles on pourrait observer de corrélation significative entre l'inhibition et les scores au FCI obtenus lors du pré-test uniquement.

Cette faible valeur prédictive peut être expliquée par différents facteurs. Tout d'abord, les résultats obtenus au pré-test du FCI ne représentent pas une évolution des conceptions d'un sujet, mais dressent plutôt le portrait de ses conceptions à un moment précis dans le temps, soit le début du trimestre. De plus, le dernier contact avec la physique mécanique de certains sujets remonte à plusieurs années. En effet, l'ÉTS requérant une formation collégiale technique, il n'est pas assuré que les sujets aient eu accès à des cours de physique mécanique à ce niveau. D'autres sujets, plus âgés, provenaient du marché du travail, principalement dans le secteur informatique. Leur formation en physique était alors assez lointaine et, puisqu'elle n'était pas nécessairement pertinente à leur travail, il n'est pas impossible qu'ils n'aient jamais eu à y faire appel. Un autre facteur pouvant expliquer cette disparité pourrait bien être celui de la provenance des sujets. En effet, une minorité non négligeable des étudiants ayant participé à l'étude était issue de l'immigration et il devient alors très difficile de

s'assurer que la formation qu'ils ont reçue dans leur pays d'origine est équivalente à la nôtre. Au vu de ces constats, il n'est pas déraisonnable de penser que les résultats observés témoignent davantage de la disparité des niveaux de maîtrise initiaux des sujets que d'une absence de relation entre les variables étudiées, ce qu'une analyse des résultats obtenus au post-test pourrait permettre de confirmer.

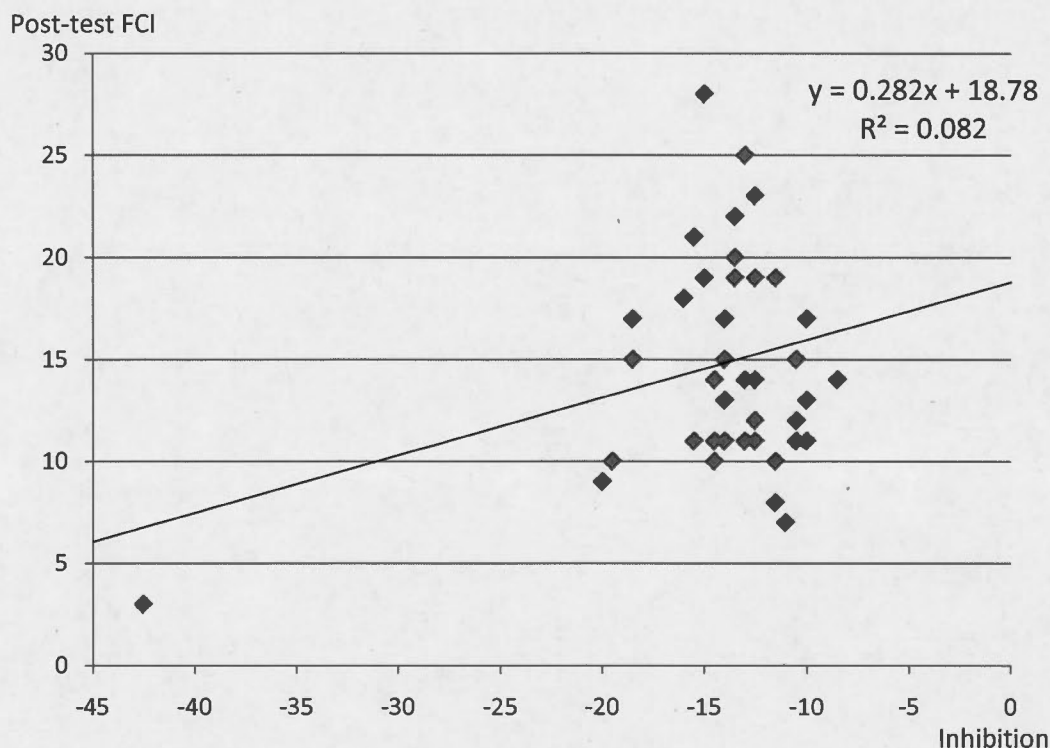


Figure 4.2 : Score au post-test du FCI en fonction de la capacité d'inhibition

Comme on peut le constater à la figure 4.2, il ne semble pas se dégager de tendance plus claire dans la distribution des scores obtenus au post-test du FCI en fonction de la capacité d'inhibition. Par contre, comme l'indiquent les analyses statistiques compilées dans le tableau 4, la corrélation entre les résultats au post-test du FCI et la capacité d'inhibition des sujets est beaucoup plus importante ($R = 0,286$), et un peu plus de 8% de la variance des scores au FCI pourrait être expliquée par la moyenne

au WCST. Cette corrélation n'est toutefois pas statistiquement significative ($p > 0,05$), et ces analyses ne permettent pas de valider l'hypothèse (1b) selon laquelle il existe une corrélation entre les résultats au post-test et l'inhibition.

Tableau 4 : Coefficient de corrélation de Pearson des scores
du post-test au FCI en fonction de la capacité d'inhibition

Coefficient de Pearson (R)	0,286
Coefficient de Pearson au carré (R^2)	0,082
p	0,066

Ainsi, relativement à notre première hypothèse de recherche, il a été impossible d'observer une corrélation significative entre l'inhibition et les scores obtenus au pré-test et au post-test du FCI. Ceci dit, ces résultats n'impliquent pas qu'il n'existe aucune relation entre ces variables, mais plutôt qu'il soit impossible de l'observer à l'aide d'une seule itération du FCI. C'est pourquoi, comme dans l'étude de Kwon et Lawson (2000), on préférera utiliser le gain conceptuel comme mesure du changement conceptuel.

4.4. Gain normalisé au FCI en fonction de la moyenne au WCST

Afin de mieux comparer les gains obtenus par les différents sujets, le gain normalisé au FCI sera employé dans les prochaines analyses. On obtient cette mesure en prenant le gain obtenu par un sujet et en le divisant par le gain maximal que ce sujet pouvait aspirer à obtenir, une méthode normalement utilisée dans le but d'augmenter l'impact des sujets plus forts dans le traitement statistique. En effet, puisque ces sujets auront obtenu de bons résultats lors du pré-test, leur gain maximal potentiel s'en trouve alors fortement limité et il devient alors difficile de comparer leur gain à celui des sujets moins performants.

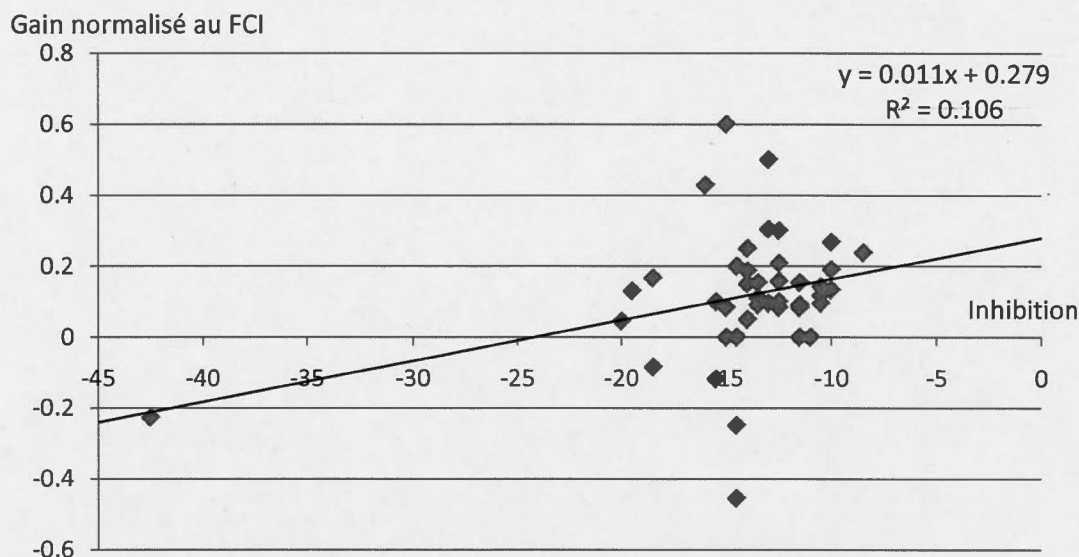


Figure 4.3 : Gain normalisé au FCI en fonction de la capacité d'inhibition

Comme on peut le constater à la figure 4.3, la majorité des points de données obtenus sont concentrés dans un nuage assez compact, avec quelques points en périphérie. Les points en dehors de cette région deviennent donc très importants puisqu'ils ont alors un rôle potentiellement dominant dans l'établissement du coefficient de régression, dont le calcul dépend de valeurs telles que la moyenne et l'écart-type. C'est pourquoi ces points ont été vérifiés afin de s'assurer que les scores obtenus au WCST étaient cohérents, c'est-à-dire qu'il n'y avait pas trop de différence entre les résultats obtenus au pré-test et au post-test. Pour ce faire, l'écart moyen entre les résultats du pré-test et du post-test du WCST a été calculé, et il a été convenu que les points de données se trouvant à l'extérieur d'une plage de deux écarts-types autour de cette moyenne devraient être rejetés, une manipulation également employée par Shtulman et Valcarcel (2012) pour éliminer les réponses dont les temps de réaction mesurés étaient trop extrêmes. Ainsi, les données de deux sujets supplémentaires ont dû être rejetées, leurs scores au WCST ayant été jugés trop volatils. De plus, outre les erreurs de persévérance, ces deux sujets ont également accumulé un grand nombre d'erreurs régulières, ce qui pourrait laisser croire qu'ils n'ont pas réalisé correctement la tâche.

Il devenait donc difficile de témoigner de la validité des scores obtenus en tant que représentation de leur capacité d'inhibition. Il est toutefois intéressant de constater que le point de donnée situé le plus à l'écart du nuage principal a survécu à ce processus d'élimination. En effet, les scores obtenus au WCST par ce sujet étaient très constants et aucun indice ne laissait supposer qu'il n'avait pas compris les consignes. De plus, la baisse observée à sa performance au FCI au cours de l'expérimentation n'est pas exceptionnelle, d'autres sujets ayant obtenu des résultats semblables. Il fut donc décidé de conserver les données de ce sujet puisque, bien qu'elles semblent anormales, rien ne permet de les invalider plus que celles des autres sujets.

Tableau 5 : Coefficient de corrélation de Pearson du gain
normalisé au FCI en fonction de la capacité d'inhibition moyenne

Coefficient de Pearson (R)	0,325
Coefficient de Pearson au carré (R^2)	0,106
p	0,0353

L'analyse statistique des données conservées démontre donc, tel qu'on peut le voir dans le tableau 5, que la corrélation entre ces variables est relativement faible. Toutefois, nous pouvons affirmer que la capacité d'inhibition des sujets, telle que mesurée par le WCST, peut expliquer jusqu'à 10,6% de la variance observée dans les scores obtenus au FCI. Malgré cette faible valeur prédictive du modèle, le score p , étant plus petit que 0,05, permet toutefois de juger cette corrélation statistiquement significative, ce qui nous permet d'invalider l'hypothèse nulle proposée selon laquelle il n'existerait aucune relation entre les variables étudiées. De plus, étant donné que la corrélation observée est bel et bien positive, en ce sens qu'à une plus grande capacité d'inhibition est normalement associé un meilleur gain au FCI, nous pouvons affirmer que la première partie de notre seconde hypothèse (2a) de recherche est confirmée.

4.5. Gain au FCI en fonction de la moyenne au WCST

Cependant, le gain normalisé pourrait ne pas être la meilleure donnée à utiliser lors des analyses statistiques. En effet, comme il a été dit précédemment, la majorité des résultats est concentrée dans une zone assez restreinte, ce qui est possiblement dû au fait que le processus de normalisation a tendance à compresser la dispersion de l'échantillon. Or, vu la faible taille de l'échantillon et l'absence de sujets performants pour en profiter, la normalisation des données a eu un effet plutôt négatif sur la qualité de l'analyse statistique. De plus, comme Kwon et Lawson (2000) n'ont pas utilisé le gain normalisé comme outil d'analyse, il devient plus pertinent, puisqu'il sera alors possible de comparer les résultats des deux études, de refaire les analyses statistiques en utilisant directement le gain obtenu au FCI sans le normaliser.

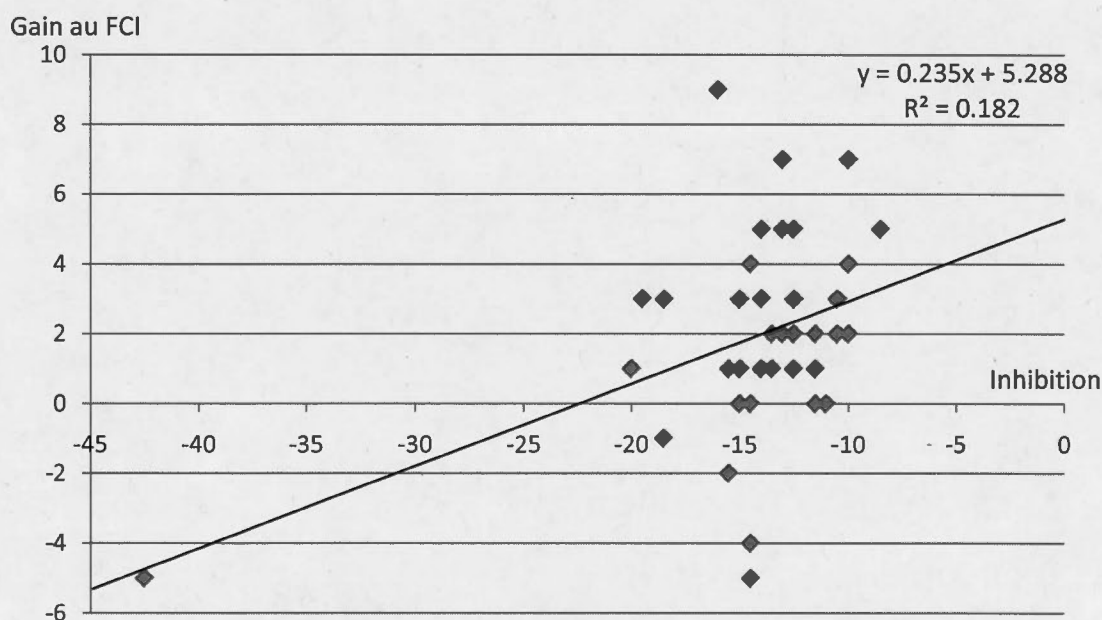


Figure 4.4 : Gain au FCI en fonction de la capacité d'inhibition

Comme on peut le constater à la figure 4.4, les points de données sont maintenant plus dispersés. Il est donc fort possible qu'une analyse de régression linéaire produise

des résultats bien différents. Ainsi, avec un coefficient de corrélation de Pearson de 0,427 ($p < 0,005$), il est possible d'affirmer qu'il existe bel et bien une corrélation entre ces deux variables beaucoup plus importante que celle observée avec le gain normalisé.

Tableau 6 : Coefficient de corrélation de Pearson du gain au FCI en fonction de la capacité d'inhibition moyenne

Coefficient de Pearson (R)	0,427
Coefficient de Pearson au carré (R^2)	0,182
$p(R^2)$	0,00468
Coefficient de Kendall (τ)	0,228
$p(\tau)$	0,0474

Ainsi, comme le démontre le tableau 6, 18,2% de la variance observée dans les résultats au FCI pourrait être associée à la capacité d'inhibition des sujets, une valeur prédictive beaucoup plus intéressante que celle obtenue précédemment. Avec $p < 0,005$, soit dix fois plus petit que la valeur normalement acceptée de 0,05, il s'agit d'une corrélation statistiquement significative, et l'hypothèse nulle (l'absence de corrélation entre l'inhibition et le gain au FCI) peut donc véritablement être rejetée. De plus, tel que le prévoyait la deuxième partie de notre seconde hypothèse (2b) de recherche, la corrélation observée est plus faible que celle décrite par Kwon et Lawson (2000), qui expliquaient près de 30% de la variance des gains obtenus à leur test sur la pression des gaz par l'effet de l'inhibition, ce que nous justifions par l'utilisation que nous avons faite d'un outil de mesure du gain conceptuel vraisemblablement plus robuste.

Cependant, le coefficient de corrélation de Pearson est une mesure dite paramétrique, c'est-à-dire que la valeur des paramètres influence le calcul du coefficient. De ce fait, lorsque l'échantillon présente des données qui ne sont pas distribuées normalement,

les mesures paramétriques tendent à être moins précises (Kendall, 1955). Or, l'échantillon étudié ici présente effectivement une donnée qui ne semble pas être distribuée selon une courbe normale. Il devient alors pertinent de confirmer la conclusion obtenue à l'aide du coefficient de Pearson en utilisant une mesure non-paramétrique, comme le τ de Kendall, un coefficient de corrélation de rang. En effet, le τ de Kendall s'intéresse au positionnement des sujets selon les diverses variables étudiées, ce qui réduit l'influence d'une donnée très éloignée des autres dans le calcul de la moyenne et de l'écart-type, paramètres essentiels au calcul du coefficient de régression. En pratique, le τ de Kendall représente la différence entre la probabilité que les deux variables soient classées dans le même ordre et celle qu'elles ne le soient pas. Ainsi, en utilisant le logiciel SPSS, nous obtenons un $\tau = 0,228$, ce qui impliquerait qu'un individu possédant une meilleure capacité d'inhibition qu'un autre aurait également 61,4% de probabilité de présenter également un meilleur gain conceptuel. De plus, avec un $p < 0,05$, cette interprétation est statistiquement significative et corrobore de façon très intéressante les conclusions obtenues précédemment.

CHAPITRE V

DISCUSSION

Les différents résultats obtenus lors de cette recherche permettent d'établir un lien entre l'inhibition et la capacité d'un individu à apprendre la physique mécanique. Afin d'explicitier ce lien, il convient de revenir sur ces résultats afin de les relier aux différentes théories vues dans le cadre théorique. Dans ce chapitre, on cherchera également à expliquer les résultats obtenus en tenant compte du contexte dans lequel l'expérience s'est déroulée.

Tout d'abord, un retour sur l'absence de corrélation observée entre les résultats obtenus au pré-test et au post-test du FCI et ceux obtenus au WCST sera effectué afin d'en faire ressortir les causes possibles. On discutera ensuite des corrélations obtenues entre le gain et le gain normalisé au FCI et les résultats obtenus au WCST, où il sera alors possible de les comparer à celle obtenue par Kwon et Lawson (2000), vu les similarités entre les méthodologies très similaires des deux recherches.

5.1. Pré-test au FCI en fonction de la moyenne au WCST

Les données recueillies n'appuient pas l'hypothèse selon laquelle il existe une corrélation entre ces deux variables. Une explication possible de cette observation pourrait être que les sujets étaient à des niveaux de maîtrise de la physique mécanique trop différents en début de trimestre. En effet, tel qu'il a été mentionné à la section précédente, l'expérience antérieure des sujets n'a pas été étudiée lors de cette étude et il était impossible de vérifier le niveau et l'homogénéité des connaissances des différents sujets. Ainsi, comme l'expérience et l'âge des sujets pouvait varier grandement, tout comme leur pays d'origine, il est tout à fait concevable que les

niveaux observés en physique mécanique de certains sujets soient différents, les différents apprentissages ayant parfois été effectués il y a plusieurs années ou dans un système éducatif étranger ne mettant pas l'emphasis sur les mêmes objets. Cette réalité est d'ailleurs observable dans les données recueillies lors du pré-test, où l'on peut remarquer un écart-type de 5,15 points pour un test dont la moyenne est de 12,83, ce qui semble indiquer une très grande variance dans les différents niveaux de compréhension observés.

Sachant que le changement conceptuel est un processus qui requiert un certain temps ainsi qu'un certain effort (Bêty, 2009), il est fort possible que, même si tous les sujets avaient reçu une formation de base équivalente en physique mécanique, le temps écoulé depuis cette formation ait pu avoir une grande influence sur la durabilité des apprentissages effectués. En combinant ces divers facteurs, il devient alors possible que des individus ayant obtenus de moins bons scores au WCST, mais dont la formation en physique était plus complète ou plus récente, obtiennent des résultats au FCI supérieurs à ceux d'autres individus présentant une meilleure capacité d'inhibition.

5.2. Post-test au FCI en fonction de la moyenne au WCST

Comme il était possible de le constater, il existe une faible corrélation, quoique non significative d'un point de vue statistique, entre les résultats au WCST et ceux obtenus au FCI lors du post-test. De plus, cette corrélation semble très près de celle obtenue entre le WCST et le gain normalisé. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette situation. Tout d'abord, il apparaît important de mentionner que les professeurs et chargés de cours responsables des groupes du cours ING150 de l'ÉTS sont au courant des niveaux très variés que présentent leurs étudiants. Ainsi, les premières séances de cours sont généralement utilisées de façon à mettre tout le monde sur un

pied d'égalité en reprenant à répétition les notions normalement vues au secondaire et au collégial. Après ce rattrapage intensif, tous les étudiants devraient normalement posséder une base minimale leur permettant de progresser dans le cours. Or, puisque la séance de pré-test s'est déroulée lors de la première séance de travaux pratiques, soit au deuxième cours du trimestre, ce niveau de base n'avait peut-être pas été atteint. Cette observation fournit une explication vraisemblable aux résultats de la comparaison entre le pré-test au FCI et le WCST, mais également à ceux entre le post-test FCI et le WCST. En effet, puisque tous les étudiants avaient, après ces quelques cours, consolidé leurs bases en physique mécanique, les résultats obtenus lors du post-test du FCI devenaient alors un meilleur indicateur de leur progression, d'où l'observation d'une possible corrélation entre ces résultats et le WCST. Cependant, comme l'écart-type observé de 5,11 lors du post-test au FCI semble l'indiquer, il semblerait qu'il existe toujours une grande disparité dans les résultats des étudiants, ce qui pourrait vouloir dire que, malgré les efforts des professeurs et chargés de cours, il est impossible pour les étudiants plus faibles, ou du moins très difficile, de rattraper le retard qu'ils avaient sur leurs collègues.

5.3. Gain et gain normalisé au FCI en fonction de la moyenne au WCST

Durant le trimestre dans lequel se déroulait cette expérience, le gain observé dans le score au FCI est probablement le meilleur indicateur de changement conceptuel. Tout d'abord, puisque le changement conceptuel requiert un certain temps avant de se concrétiser (Posner *et al.*, 1982; diSessa, 1993; Vosniadou, 1994), le fait que les séances de collecte de données soient séparées de quelques mois était vraisemblablement une condition très importante. Ensuite, la structure du cours ING150 dans lequel évoluaient les sujets était elle-même avantageuse, puisque chaque séance de cours était, dans la même semaine, suivie d'une séance de travaux pratiques lors de laquelle les étudiants étaient invités à revoir la matière du cours

précédent et à résoudre de nombreux problèmes lui étant associés. Ceci permet d'explorer les notions vues en classe dans différents contextes, une stratégie qui, selon diSessa (1993), présente un avantage indéniable pour consolider le changement conceptuel.

La corrélation observée entre le gain au FCI et les scores obtenus au WCST lors de cette recherche permet ainsi de renforcer les résultats et interprétations de Dunbar (2007) qui n'avait pu quantifier la relation qu'il a observée entre l'inhibition et le changement conceptuel en physique mécanique. Cette corrélation présente également un pouvoir de modélisation intéressant, sachant qu'un peu plus de 18% de la variance de la quantité de changements conceptuels effectués, tels que représentés par le gain au FCI, peut être expliquée par l'inhibition, mesurée à l'aide du WCST.

Cependant, lorsque l'on compare l'inhibition au gain normalisé obtenu au FCI, on remarque une forte baisse de la corrélation, ainsi qu'une réduction importante du pouvoir de modélisation, puisque seulement 10% de la variance observée dans le gain normalisé au FCI pourrait être expliquée par la moyenne obtenue au WCST, une mesure de la capacité d'inhibition. En temps normal, le gain normalisé permet de rétablir l'importance dans le traitement statistique des sujets les plus forts. En effet, puisque ces sujets ont obtenu de très bons résultats lors du pré-test, leur gain maximal potentiel est beaucoup moins élevé que celui des sujets plus faibles et le gain direct ne peut représenter que difficilement la progression réelle de ces individus. Or, les données recueillies lors de la présente expérience démontrent qu'il y a peu de variance dans les gains des différents sujets, et ce peu importe leur performance au pré-test, ce qui pourrait indiquer que le cours ciblait principalement certaines conceptions qui étaient mal comprises de tout l'échantillon, et donc que tous, peu importe leur performance, possédaient le même potentiel d'amélioration. Une telle situation aurait alors pour effet de diminuer le pouvoir explicatif du gain normalisé en

tant que donnée représentative de la progression des sujets lors du trimestre, ce qui pourrait expliquer la faible corrélation mesurée.

Il devient ici possible d'établir une comparaison intéressante avec les travaux de Kwon et Lawson (2000). Les résultats obtenus lors de cette recherche font en effet état d'une corrélation beaucoup plus importante où près de 30% de la variance observée dans les apprentissages effectués pouvaient être expliqués par l'inhibition. Or, Kwon et Lawson ont utilisé un instrument de mesure qu'ils ont eux-mêmes conçu afin de mesurer la progression des sujets en ce qui concerne les notions reliées à la pression des gaz. Cet instrument de mesure n'était composé que de six questions à réponses courtes et ouvertes pour lesquels deux points étaient donnés pour une bonne réponse, un seul pour une réponse partiellement correcte et zéro pour une mauvaise réponse. Ce type de test, en principe, comporte beaucoup moins de pièges que le FCI, où tous les choix de réponses représentent des conceptions naïves populaires. De plus, l'intervention pédagogique et la méthode de correction employée par Kwon et Lawson pourraient contribuer à gonfler artificiellement les résultats obtenus lors du post-test. En effet, non seulement des points étaient attribués pour une réponse partiellement correcte, ce qui rendait possible pour un individu n'ayant pas effectué les changements conceptuels visés de tout de même obtenir 50% des points possibles simplement en improvisant une réponse basée sur certains éléments vus en classe, mais les différentes activités d'apprentissages vécues par les sujets lors de l'étude portaient spécifiquement sur les items du questionnaire. Il n'est donc pas impossible que la corrélation observée par Kwon et Lawson soit plus élevée qu'elle ne le devrait. Afin d'éviter ce genre de situation, il a été jugé préférable d'utiliser, dans notre recherche, un instrument de mesure plus robuste ayant été validé à la fois par l'expérience et des analyses statistiques (Lasry *et al.*, 2011) dont les questions n'ont pas été communiquées aux chargés de cours volontaires, de sorte que les résultats obtenus constituent une mesure plus impartiale des apprentissages des sujets, ce qui

laisse présumer que la corrélation en découlant est donc plus représentative de la réalité.

En statistique, une corrélation comme celle observée précédemment ($R = 0,427$) est généralement qualifiée de faible. Cependant, lorsque l'on considère la quantité impressionnante de facteurs pouvant potentiellement influencer l'apprentissage de la physique mécanique, il s'agit en fait d'une corrélation beaucoup plus importante que les apparences ne le laissent suggérer. Sachant que le gain au FCI représentait ici les changements conceptuels effectués par les sujets et que 18% de la variance de ces résultats pouvaient être expliqués par leur capacité d'inhibition, il devient désormais possible d'affirmer qu'il est plus facile pour un individu possédant initialement une meilleure capacité d'inhibition d'effectuer des changements conceptuels, ou du moins qu'il pourra en effectuer davantage au cours d'un traitement pédagogique similaire à celui qui fut utilisé dans notre recherche. Cette conclusion est d'ailleurs corroborée par l'utilisation du τ de Kendall, selon laquelle un individu présentant une meilleure capacité d'inhibition aura également 61,4% de chance d'effectuer plus de changements conceptuels durant une période donnée. Malgré le fait que ces analyses ne permettent pas de conclure à l'existence d'une relation causale entre les deux variables étudiées, celle-ci peut être suggérée puisque l'inhibition, du moins si l'on se fie au modèle de Houdé présenté dans le cadre théorique, doit forcément survenir avant le changement conceptuel, étant donné qu'il s'agit d'un mécanisme par lequel le changement conceptuel s'opère. Une étude supplémentaire utilisant diverses variables de contrôle serait toutefois nécessaire pour le confirmer.

Cependant, l'existence de cette corrélation permet de remettre en question les différents modèles de changement conceptuel vus au chapitre II. En effet, bien que le modèle de Posner, Strike, Hewson et Gertzog fasse référence au rejet d'une conception antérieure, ce que l'on pourrait attribuer à l'effet de l'inhibition, il met

également l'emphase, tout comme les modèles de diSessa et de Vosniadou, sur le fait que les conceptions antérieures se transforment afin de devenir plus conformes au savoir scientifique. Or, les différentes recherches portant sur le changement conceptuel faisant référence à la capacité d'inhibition s'entendent sur le fait que les conceptions antérieures doivent être inhibées pour permettre aux nouvelles de se manifester, ce qui semblerait vouloir dire que les deux conceptions existent en parallèle (Dunbar & Stein, 2007; Shtulman & Valcarcel, 2012). L'existence d'une corrélation significative entre la capacité d'inhibition et le changement conceptuel laisse donc présager qu'un nouveau modèle de changement conceptuel serait nécessaire, puisque les modèles de transformation des conceptions sont plutôt incompatibles avec le phénomène de coexistence observés. Ce nouveau modèle, comme Potvin (à paraître) le suggère, devrait plutôt mettre l'emphase sur la prévalence des conceptions, ce qui aurait l'avantage de mieux expliquer les observations des différents chercheurs du domaine, en plus d'être compatible avec les modèles d'inhibition de Houdé (2003) et Miyake (Miyake *et al.*, 2000).

Ainsi, bien qu'il ne soit pas facile pour un enseignant, outre l'élaboration d'une pédagogie de l'inhibition, d'intégrer ces résultats à sa pratique, ceux-ci ont toutefois une incidence non négligeable pour les chercheurs qui s'intéressent à l'inhibition dans l'éducation. En effet, il pourrait être intéressant, lors de futures recherches, d'établir l'effet qu'un tel enseignement mettant l'emphase sur le développement de la capacité d'inhibition pourrait avoir sur le développement des élèves ou étudiants qui y seraient soumis en comparant l'effet de cet enseignement à des pratiques plus traditionnelles par l'utilisation d'un groupe témoin qui contrasterait avec le groupe expérimental. Il serait également pertinent, puisque l'inhibition semble avoir été identifiée comme facteur déterminant dans l'apprentissage de plusieurs domaines scientifiques, de vérifier si cette relation ne pourrait pas être généralisée à d'autres secteurs d'apprentissage, comme les langues, l'histoire, les mathématiques ou même l'éducation physique. Cependant, comme nous avons pu le constater lors de l'analyse

des résultats obtenus au pré-test du FCI, il serait important de considérer certains facteurs supplémentaires, tels que l'âge des sujets et leur scolarité préalable, ainsi que le temps qui s'est déroulé depuis la dernière fois où ils seront entrés en contact avec les concepts étudiés, de sorte qu'il soit possible d'analyser les résultats obtenus avec une perspective plus complète.

CONCLUSION

Cette recherche supposait l'existence d'une corrélation entre la capacité d'inhibition d'un échantillon composé d'étudiants universitaires en ingénierie et leur capacité à effectuer des changements conceptuels en physique mécanique. Cette hypothèse découlait directement de la littérature disponible (Dunbar & Stein, 2007) qui faisait mention d'une possible interaction entre ces deux variables, mais sans toutefois pouvoir la quantifier.

La revue de littérature permet également de mettre à jour une autre recherche (Kwon & Lawson, 2000) proposant une méthodologie simple permettant de quantifier cette relation, telle que le démontrait la corrélation observée entre la capacité d'inhibition d'environ 200 adolescents coréens et les changements conceptuels effectués en sciences de la nature, plus particulièrement en ce qui a trait aux concepts reliés à la pression des gaz. Cependant, la précision de l'instrument de mesure qui servit à évaluer le changement conceptuel utilisé par les auteurs pouvait être critiquée. C'est pourquoi un instrument de mesure plus robuste et reconnu, le *Force Concept Inventory*, fut utilisé dans le cadre de notre recherche. Le FCI a également été préféré à l'utilisation des résultats scolaires des sujets en tant que mesure du changement conceptuel. En effet, puisque les examens prévus dans le cours ING150 de l'ÉTS n'étaient pas récapitulatifs, il aurait été très difficile de mesurer l'évolution des conceptions des sujets, ce qui était pourtant l'objectif de cette recherche. De plus, comme l'inhibition est une fonction cognitive se développant plus tardivement à l'adolescence (Houdé, 2003), une conclusion à laquelle parviennent eux-mêmes Kwon et Lawson (2000), une population plus âgée a été jugée préférable afin de limiter les variations possibles de la capacité d'inhibition des sujets tout au long de l'étude, de façon à mieux isoler l'effet de l'inhibition sur le changement conceptuel.

Malgré une grande mortalité expérimentale ayant pour effet de réduire la puissance de généralisation des résultats obtenus, ces derniers permettent tout de même des observations fort intéressantes. Tout d'abord, il fut établi que la capacité d'inhibition des sujets ne pouvait expliquer les résultats obtenus au FCI lors de la séance de pré-test, probablement parce que le niveau initial des étudiants formant l'échantillon était très hétérogène vu leurs provenances et leurs expériences parfois très différentes. Quant au post-test, une très faible corrélation fut observée entre les variables étudiées, ce qui est raisonnable vu la structure du cours privilégiée par les professeurs et chargés de cours de l'École de Technologie Supérieure d'où provenaient les volontaires. Cette corrélation n'était toutefois pas statistiquement significative.

En utilisant l'idée de gain conceptuel introduite par Kwon et Lawson (2000), une corrélation plus importante fut établie entre le changement conceptuel en physique mécanique et l'inhibition. Cependant, le processus de normalisation des données utilisé initialement, combiné à un échantillon de petite taille et à une distribution particulière des résultats obtenus au FCI ainsi qu'au Wisconsin Card Sorting Test, eut pour effet de réduire la valeur prédictive des résultats. Une nouvelle analyse, utilisant des données qui n'étaient pas normalisées, produisit de meilleurs résultats.

Ainsi, les résultats de notre étude permettent de corroborer l'hypothèse de l'existence d'un lien entre la capacité d'inhibition et le changement conceptuel en physique mécanique et que jusqu'à un peu plus de 18% de la variance des résultats obtenus au FCI peuvent être imputés à l'inhibition telle que mesurée par le WCST. Statistiquement parlant, cette corrélation peut être qualifiée de faible (Howell, 2008), mais, lorsque l'on considère la grande quantité de facteurs pouvant influencer le changement conceptuel, la corrélation observée paraît alors d'une plus grande importance pédagogique.

De plus, comme cette corrélation a également été observée en électricité (Masson, 2011), en physique mécanique (Fugelsang & Dunbar, 2005) et en sciences naturelles (Kwon & Lawson, 2000), ainsi que dans plusieurs autres disciplines issues des sciences et des mathématiques (Shtulman et Valcarcel, 2012), une certaine généralisation de l'importance de l'inhibition dans le changement conceptuel semble envisageable, ce que de futures recherches pourraient éventuellement appuyer. De plus, comme le changement conceptuel n'est pas restreint aux sciences naturelles, il serait également intéressant de voir si cette généralisation pourrait s'étendre à d'autres domaines, comme les différentes disciplines issues des sciences humaines et des langues.

APPENDICE A

CALENDRIER DES OPÉRATIONS

Mai 2012						
Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di
30	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Juin 2012						
Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

Juillet 2012						
Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa	Di
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

LÉGENDE



Période expérimentale



Séance de collecte de données

APPENDICE B

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT



FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT (sujet majeur)

« ÉTUDE DU RÔLE DE L'INHIBITION DANS L'ÉVOLUTION DU
CONCEPT DE FORCE CHEZ DES ÉTUDIANTS
UNIVERSITAIRES EN PHYSIQUE »

IDENTIFICATION

Responsable du projet : Patrice Potvin

Département, centre ou institut : Département d'éducation et pédagogie, UQAM

Adresse postale : UQAM, DEP, CP8888, Succ. CV, Montréal, Qc, H3C 3P8

Adresse courriel : potvin.patrice@uqam.ca

Membres de l'équipe : François Thibault, Frédérick Fortin

BUT GÉNÉRAL DU PROJET

Vous êtes invité à prendre part à ce projet visant à établir un lien entre l'évolution du concept de force chez des étudiants universitaires en physique et leur capacité d'inhibition. La capacité d'inhibition est une fonction exécutive impliquée, entre autres, dans la détection des erreurs, dans la gestion de situations complexes ainsi que dans la prise de décisions et l'habileté de planification. On soupçonne également qu'elle puisse être impliquée dans le processus d'apprentissage en science.

PROCÉDURE(S)

Votre participation consiste, en un premier temps, à accepter de répondre au meilleur de vos connaissances à un questionnaire portant sur le concept de force. En un second temps, à accepter de passer un test visant à mesurer votre capacité d'inhibition.

AVANTAGES et RISQUES

Votre participation contribuera à l'avancement des connaissances par une meilleure compréhension des processus d'apprentissage en sciences. Il n'y a pas de risque d'inconfort important associé à votre participation lors de cette rencontre. Advenant que vous décidiez d'abandonner en cours de route, vous n'aurez pas à vous justifier.

CONFIDENTIALITÉ

Il est entendu que les renseignements recueillis lors des questionnaires sont confidentiels et que seuls les membres de l'équipe de recherche auront accès à vos réponses. Le matériel de recherche (enregistré sur nos supports mémoire) ainsi que votre formulaire de consentement seront conservés sur les serveurs de l'UQAM et dans les bureaux sous clé du responsable pour la durée totale du projet. Les formulaires de consentement et les données seront détruits 5 ans après la fin du projet.

PARTICIPATION VOLONTAIRE

Votre participation à ce projet est volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure, et que par ailleurs vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche. Dans ce cas, les renseignements et les données vous concernant seront détruits. Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de la présente recherche (mémoire de maîtrise, articles, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Vous pouvez contacter le responsable du projet au numéro (514) 987- 3000 # 1290 pour des questions additionnelles sur le projet ou sur vos droits en tant que participant de recherche. Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'UQAM a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche au plan de l'éthique de la recherche ou pour formuler une plainte ou des commentaires, vous pouvez contacter le Président du Comité institutionnel d'éthique de la recherche, Joseph Josy Lévy, au numéro (514) 987-3000 # 4483. Il peut être également joint au secrétariat du Comité au numéro (514) 987-3000 # 7753.

REMERCIEMENTS

Votre collaboration est essentielle à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier.

« ÉTUDE DU RÔLE DE L'INHIBITION DANS L'ÉVOLUTION DU
CONCEPT DE FORCE CHEZ DES ÉTUDIANTS
UNIVERSITAIRES EN PHYSIQUE »

SIGNATURES :

Je, _____ reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et consens volontairement à participer à ce projet de recherche. Je reconnais aussi que le présentateur a répondu à mes questions de manière satisfaisante et que j'ai disposé suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer. Je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner. Il me suffit d'en informer le responsable du projet.

Signature du participant :

Date :

Nom (lettres moulées) et coordonnées :

Signature du responsable du projet ou de son, sa délégué(e) :

Date :

Veillez conserver la première partie de ce formulaire de consentement pour communication éventuelle avec l'équipe de recherche et remettre la deuxième partie au responsable.

RÉFÉRENCES

- Baillargeon, R. (1987). Object permanence in 3½ and 4½ month old infants. *Developmental Psychology*, 23, 655-664.
- Bélanger, M. (2008). *Du changement conceptuel à la complexification conceptuelle dans l'apprentissage des sciences*. Thèse de doctorat, Université de Montréal, Montréal.
- Bench C. J., Frith, C. D., Grasby, P. M., Friston, K. J., Paulesu, E., Frackowiak, R. S., et al. (1993). Investigations of the functional anatomy of attention using the Stroop test. *Neuropsychologia*, 31(9), 907-922.
- Bêty, M. N. (2009). *Les principaux modèles de changement conceptuel et l'enseignement des sciences au primaire : état de la question*, Mémoire de maîtrise inédit, Université du Québec à Montréal, Montréal.
- Berg, E. A. (1948). A simple objective technique for measuring flexibility in thinking. *Journal of General Psychology*, 39, 15-22.
- Botvinick, M. (2007). Conflict monitoring and decision making: reconciling two perspectives on anterior cingulate function. *Cognitive, Affective, & Behavior Neuroscience*, 7 (4), 356-366.
- Bush, G., Vogt, B. A., Holmes, J., Dale, A. M., Greve, D., Jenike, M. A., et al. (2002). Dorsal anterior cingulate cortex: A role in reward-based decision making. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99 (1), 523-528.
- Diamond, A (1991). Neuropsychological insights into the meaning of object concept development. In S. Carey & R. Gellman (Eds), *The epigenesis of mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum
- diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. B. Pufall (Eds.), *Constructivisme in the Computer Age* (pp. 49-70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2 & 3), 105-225.
- diSessa, A. A. & Sherin, B. (1998). What changes in conceptual change?, *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1155-1191.
- diSessa, A. A. (2006). A history of conceptual change research. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook on the Learning Sciences* (pp. 265-281). New York, NY: Cambridge University Press.
- Dunbar, K. N. & Stein, C. (2007). Do naïve theories ever go away? In Lovett (Ed.), *Thinking with data* (pp.193-205), New York : Lawrence Erlbaum Associates.
- Fugelsang, J. A. & Dunbar, K. N. (2005). Brain based mechanism underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia*, 43, 1204-1213
- Greve, K. W., Stickler, T. R., Love, J., Bianchini, K. J. & Stanford, M. S. (2005) Latent structure of the Wisconsin Card Sorting Test: a confirmatory factor analytic study. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 20, 355-364
- Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students, *American Journal of Physics*, 53 (11), 1043-1055
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory, *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Houdé, O. (1992). Catégorisation et développement cognitif. Paris: PUF.
- Houdé, O. (1995). Rationalité, développement et inhibition (Rationality, development, and inhibition). Paris: PUF.
- Houdé, O. (1999). Executive performance/competence, and inhibition in cognitive development. *Dev Sci*, 2, 273-275.
- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Développement*, 15, 63-73.
- Houdé, O. (2003). Inhibition cognitive et imagerie cérébrale. In Moutier (Ed.), *Inhibition neurale et cognitive* (pp. 60-73), Paris : Lavoisier.
- Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., et al. (2011) Functional magnetic resonance imaging study of Piaget's conservation-of-

- number task in preschool and school-age children: A neo-Piagetian approach. *Journal of experimental child psychology*, 110, 332-346.
- Howell, D. C. (2008). *Méthodes statistiques en sciences humaines*. Bruxelles : De Boeck.
- Hull, C. L. (1943). *Principles of Behavior*. New York : Appleton-Century.
- Kendall, M. G. (1955). *Rank correlation methods*. New York : Hafner Publishing Co.
- Kremer-Marietti, A. (2006). *Le positivisme d'Auguste Comte*. Paris : L'Harmattan.
- Kuhn, T. S. (1962) *The structure of scientific revolutions*. Chicago : University of Chicago Press.
- Kwon, Y.-J., Lawson, A. E. (2000). Linking brain growth with the development of scientific reasoning ability and conceptual change during adolescence. *Journal of research on science teaching*, 37 (1), 44-62
- Lasry, N., Rosenfield, S., Dedic, H., Dahan, A. & Reshel, O. (2011). The puzzling reliability of the FCI, *American Journal of Physics*, 79, 909-912.
- Masson, S. (2005). *Effets de l'utilisation de micromondes historiques sur les processus de changement conceptuel en sciences*. Mémoire inédit, Université de Montréal, Montréal.
- Masson, S. (2011). *Étude des mécanismes cérébraux liés au changement conceptuel en électricité à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle*. Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal, Montréal.
- Monchi, O., Petrides, M., Petre, V., Worsley, K. & Dagher, A. (2001). Wisconsin card sorting revisited: distinct neural circuits participating in different stages of the task identified by event-related functional magnetic resonance imaging. *The Journal of Neuroscience*, 21(19), 7733-7741.
- Miyake A, Friedman N P, Emerson M J, Witzki A H, Howerter A, Wagner T D (2000). "The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal lobe' tasks: A latent variable analysis". *Cognitive Psychology* 41 (1): 49-100
- Nathaniel-James, D. A., Fletcher, P., & Frith, C. D. (1997). The functional anatomy of verbal initiation and suppression using the Hayling Test. *Neuropsychologia*, 35, 559-566.

- Petito, L.-A., Dunbar, K. N. (2009). New findings from educational neuroscience on bilingual brains, scientific brains, and the educated mind. In K. Fischer & T. Katzir (Eds.), *Building usable knowledge in mind, brain, & education*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Piaget, J. (1952). *The origin of intelligence in children*. New York: International Universities Press.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Basic Books.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 211-227.
- Potvin, P., Masson, S., Riopel, M. & Fournier, F. (2007). Intentional conceptual change at issue : do secondary school science students know when they don't know?. *National Association for Research in Science Teaching 2007 conference proceedings*, New Orleans.
- Potvin, P. (In press). Persistence of the intuitive conception that heavier objects sink more: a reaction time study with different levels of interference. *Neuroéducation*.
- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I., & Lahanier-Reuter, D. (2007). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. Bruxelles: De Boeck.
- Shtulman, A., & Valcarcel, J. (2012). Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition*, 124, 209-215
- Tyson, L. M., Venville, G. J., Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (1997). A multidimensional framework for interpreting conceptual change-events in the classroom. *Science Education*, 81 (4), 387-404.
- van Duijvenvoorde, A. C., Zanolie, K., Rombouts, S. A. R. B., Raijmakers, M. E. J. & Crone, E. A. (2008). Evaluating the negative or valuing the positive? Neural mechanisms supporting feedback-based learning across development. *The Journal of Neuroscience*, 28 (38), 9495-9503.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.

- Vosniadou, S. (1999). Conceptual change research: state of the art and future directions. In W. Schnitz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 3-13). Amsterdam : Pergamon.
- Vosniadou, S. (2008). Conceptual change research: an introduction. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. xiii-xxviii). New York: Routledge.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749-750.
- Wynn, K. (1995). Origins of numerical knowledge. *Math Cognit*, 1, 35-60.